

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Приладобудування _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність - 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології та
проектування приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Юрій КИРИЧУК.
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
« ____ » _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту**

Хілик Денис Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Вібраційний чутливий елемент автоматизованого
приладового комплексу

керівник проекту Безвесільна Олена Миколаївна, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 26 » травня 2021 р. №1347-с

2. Строк подання студентом проекту 14 Червня 2021

3. Вихідні дані до проекту: маса ВГ до 0,1 кг; габаритні розміри – 100х60
мм; довжина дроту 1-5,5 см; маса вантажу до 0,06 кг; робочий частотний
діапазон ВГ – (0,1...100) Гц; стала часу ЧЕ – 0,1 с; частота вимірювань 10
Гц; робоча температура +20°C.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Зміст пояснювальної записки: 1.Огляд літератури за темою
дипломного проекту; 2. Проектно-конструкторський розділ; 3.
Технологічний розділ; Визначення показників технологічності; Розробка
технологічних схем складання; Висновки; Перелік використаної
літератури;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Збіркове креслення ВГ; Структурну схему блоку введення сигналу від ВГ; Електрична принципова схема; Структурна схема перетворень сигналів; Структурна автоматизованого комплексу вимірювань g;

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний розділ	к.т.н. , доцент каф ВП Шевченко В.В.		

7. Дата видачі завдання 30 квітня 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Одержати у керівника дипломного проекту (ДП) затвердженого завідувачем кафедри завдання на ДП	30 квітня 2021 р.	
2.	Виконання пояснювальної записки ДП	05 червня 2021 р.	
3.	Виконання технологічного розділу ДП, передача на перевірку та одержання підпису консультанта	05 червня 2021 р.	
4.	Виконання графічних матеріалів ДП	05 червня 2021 р.	
5.	Подання керівнику для перевірки: ДП та тексту його остаточного варіанту в електронному вигляді, одержання відгука на ДП	08 червня 2021 р.	
6.	Одержання рецензії на ДП	09 червня 2021 р.	
7.	Подання ДП на кафедру, одержання грифу «До захисту допущено» у завідувача кафедри	09 червня 2021 р.	
8.	Подання ДП, відгука та рецензії в екзаменаційну комісію університету	15 червня 2021 р.	
9.	Захист дипломного проекту в екзаменаційній комісії університету	16 червня 2021 р.	
10.	Подання повної електронної версії ДП на кафедру для розміщенню в ELAKPI	17 червня 2021 р.	

Студент

(підпис)

Денис ХІЛИК

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту

(підпис)

Олена БЕЗВЕСІЛЬНА

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний

(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Юрій КИРИЧУК

(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“ ” 2021 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології проектування приладів»

Спеціальності **151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

на тему: **Вібраційний чутливий елемент автоматизованого
приладовго комплексу**

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи ПМ-71
(шифр групи)

Хілик Денис Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник **професор, д.т.н., Безвесільна О.М.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант **технологічний доцент, к.т.н. Шевченко В.В.**

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент **доцент, к.т.н., доцент Лакоза С.Л.**

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____ Денис Хілик

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ*

[illegible]

				ДП ХХХХ 00.000.00		
	ПБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Розробн.	Хілік				1	1
Керівн.	Безвесільна				КП імені Ігоря Сікорського Каф. ПБ Гр. ПМ-71	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Безвесільна					

* Відомість виконується згідно зі Стандартом відповідної галузі економіки

Пояснювальна записка до дипломного проекту

На тему: **Вібраційний чутливий елемент автоматизованого
приладового комплексу**

Київ – 2021 року

Анотація

Дипломний проєкт містить: 59 с., 3 табл., 14 рис., та 28 джер.

В даній роботі представлено методи вимірювання сили тяжіння та оглянуто засоби для його виміру, а саме гравіметр.

Гравіметр – це прилад, який було створено для вимірювання прискорення сили тяжіння (ПСТ).

Ефективність роботи авіаційного гравіметричного комплексу системи (АГС) значною мірою залежить та забезпечується вибором чутливого елемента – гравіметра. Запропоновано вібраційний гравіметр (ВГ) або тензометричний гравіметр (ТГ) автоматизованого приладового комплексу (АПК). Визначено переваги та недоліки існуючих сьогодні гравіметрів авіаційних гравіметричних систем. Показано, що АГС із тензометричним гравіметром зможе забезпечити суттєве підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння. Використання вібраційного гравіметра забезпечує підвищення точності, швидкої і точної цифрової реєстрації гравітаційного прискорення на літаку.

Ключові слова: гравіметр, вібраційний гравіметр, тензометричний гравіметр, автоматизований приладовий комплекс, авіаційна гравіметрична система.

Annotation

The diploma project contains: 59 pages, 3 tables., 14 fig. and 28 sources.

This paper presents methods for measuring gravity and examines the means for measuring it, namely a gravimeter.

A gravimeter is a device that was created to measure the acceleration of gravity (PST).

The efficiency of the aviation gravimetric complex of the system (AGS) largely depends on and is ensured by the choice of the sensitive element of the gravimeter. A vibration gravimeter (VG) or strain gauge gravimeter (TG) of an automated instrument complex (AIC) is proposed. The advantages and disadvantages of existing gravimeters of aviation gravimetric systems are determined. It is shown that AGS with a strain gauge gravimeter can provide a significant increase in the accuracy of gravity acceleration measurements. The use of a vibrating gravimeter provides improved accuracy, fast and accurate digital recording of gravitational acceleration on the aircraft.

Keywords: gravimeter, vibration gravimeter, strain gauge gravimeter, automated instrument system, aviation gravimetric system.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА.....	7
1.1. Методи вимірювання прискорення сили тяжіння	7
1.2. Існуючі типи гравіметрів.....	8
1.3. Новий вібраційний (тензометричний) гравіметр автоматизованої авіаційної системи (ВГ АГС).	16
1.4. Висновок до першого розділу	20
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1. Вибір матеріалу дроту для тензометричного гравіметра	21
2.2. Спосіб закріплення тензочутливого дроту у герметичному корпусі	23
2.3. Математична модель ТГ	25
2.4. Реєстрація вихідного сигналу ВГ	28
2.5. Вхідний сигнал вібраційного гравіметра.....	31
2.6. Розрахунок точності ВГ	33
2.7. Похибки ВГ (ТГ) АГС від переносної (відносно приладу) кутової швидкості обертання Землі.....	40
2.8. Статична характеристика	43
2.9. Висновок до другого розділу	45
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	46
3.1. Визначення основних показників технологічності	47
3.2. Визначення додаткових показників технологічності	48
3.3. Визначення комплексного показника технологічності	48
3.4. Розробка технологічної схеми складання (ТСС) та схеми складального складу (ССС).....	50
3.5. Розрахунок складальної одиниці на точність.....	53
3.6. Висновок до третього розділу	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДПБ	56
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	57
Додатки	

					<i>ДПБ ПМ-7117.000.000 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Хілик Д.А.			Вібраційний чутливий елемент автоматизованого приладового комплексу	Літера	Аркви
Перевір.							3
Реценз.							53
Н. Контр.						ПБФ, 4 курс, ПМ-71	
Затверд.		Безвесільна					

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

g – прискорення сили тяжіння
 Δg – аномалія прискорення сили тяжіння
 АГС – авіаційна гравіметрична система
 ЧЕ – чутливий елемент
 ВГ – вібраційний гравіметр
 ТГ – тензометричний гравіметр
 ІНС – інерційна навігаційна система
 ПСТ – прискорення сили тяжіння
 АВ – аерогравіметричні вимірювання
 МВ – морські гравіметричні вимірювання
 ЛА – літальний апарат
 БЦОМ – бортова цифрова обчислювальна машина
 f_z – вихідний сигнал ТГ
 g_z – ПСТ вздовж осі чутливості ТГ
 v – швидкість ЛА
 r – радіус місцезнаходження ЛА
 e – стиск еліпсоїда
 φ – географічна широта
 k – курс ЛА
 ω_3 – кутова швидкість обертання Землі
 h – висота ЛА над еліпсоїдом
 $\dot{h}$ – вертикальна швидкість ЛА
 $\ddot{h}$ – вертикальне прискорення ЛА
 γ_0 – довідкове ПСТ
 f – частота поперечних коливань проволочки
 l – робоча довжина тензометричного дроту
 λ – питома густина матеріалу дроту
 S – площа поперечного перетину дроту
 m – маса вантажу

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

k – повздовжня жорсткість проволочки

ξ – коефіцієнт демпфірування

ω_0 – власна частота ТГ

z – пружна деформація проволочки під дією сили mz

t – поточний час

f_z – частота поперечних коливань проволочки під дією прискорень $\ddot{z}$

Δf – зміна частоти поперечних коливань

c – товщина дроту

b – ширина дроту

E – модуль пружності дроту

F – натяг дроту

σ_d – допустимі напруження в матеріалі проволочки

ζ – коефіцієнт приглушення завад

$\frac{hdx}{dt}$ – сила тертя, що створюється демпфіруючим пристроєм

x – пружна деформація проволочки під дією сили $m \frac{d^2x}{dt^2}$

$\frac{dx}{dt}$ – швидкість переміщення нижнього кінця проволочки, рівна швидкості переміщення вантажу

Δl – пружна деформація дроту під дією сили m_g

H – напруженість магнітного поля

B – індукція магнітного поля

δ – повітряний зазор магніту

μ_0 – магнітна постійна

σ – коефіцієнт розсіювання магнітного поля потоку

λ – магнітна провідність

$\Sigma \chi_3$ – сумарна магнітна провідність для струму розсіювання

					ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В аерокосмічній галузі є велика потреба у вимірюванні прискорення сили тяжіння (ПСТ) g та його аномалій Δg для корекції інерціальних систем навігації; у картографії, щоб досліджувати форму Землі та для досліду геодинамічних явищ. У геології та геофізиці, щоб дізнатися розміщення знаходження покладів корисних копалин таких як: золото, уран, газ, нафта та інші. Які можуть знаходитись у важкодоступних місцях: морських та океанських шельфах, у гірських масивах.

Для визначення та вивчення гравітаційного поля Землі, більш зручно використовувати авіаційну гравіметричну систему (АГС), в якій чутливим елементом є гравіметр. АГС має перевагу над іншими гравіметричними засобами та системами, так як вона може здобути гравіметричну інформацію швидше та навіть у важкодоступних місцях нашої земної кулі. Ефективність даної системи повністю залежить від вибору чутливого гравіметра. Визначення навігаційних координат об'єктів АГС, які здійснюють рух у мало вивчених ділянках Землі, потребує підвищення точності та швидкодії АГС. Це завдання є основним що постає для розробників прецизійних АГС. Незважаючи на актуальність зазначеної проблеми, це є досить важкою й складною задачею науково-технічної спільноти.

Як показують останні дослідження у сфері АГС, точність виміру g в АГС залежить від точності його визначення гравіметром. Тому постає актуальна проблема у використанні нових, точніших гравіметрів. Для вирішення даної проблеми запропоновано в даній роботі вібраційний гравіметр (ВГ) або тензометричний гравіметр (ТГ).

Тому у даній роботі представлено фундаментальні положення: як саме вимірювати прискорення сили тяжіння g та аномалію цього прискорення Δg за допомогою АГС. Точність виміру g за використанням ТГ, обмежено здебільшого точністю визначення Δg гравіметричною системою.

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА

1.1. Методи вимірювання прискорення сили тяжіння

Існує два способи вимірювання прискорення сили тяжіння g : абсолютний і відносний. Відносний спосіб представляє собою, коли вимірюють прирощення Δg до значення g для деяких вихідних точок або у деякому вихідному пункті.

Залежно від вибору методу вимірювання сили тяжіння, прилади які носять назву гравіметри, розділяються на дві групи: статичні та динамічні. Для гравіметрів, що використовують статичний метод існує досить великий клас приладів, які у свою чергу, базується на принципі урівноваження моменту сили тяжіння(або урівноваження сили тяжіння) пружною силою (або пружинним моментом) саме елементу датчика, який є чутливим.

Для виміру Δg , зазвичай, використовуються статичні гравіметри. Вони використовуються тільки для виміру відносних значень і являються основними у цьому напрямку. Принцип дії таких гравіметрів може бути схожий на динамометр або мати аналогію з пружинними вагами, конкретніше має вигляд пружини з вантажем.

Мірою вимірювання прискорення сили тяжіння є зміна довжини пружини, яка змінюється через вагу цього вантажу, яка викликана різними показами g .

У більшості випадків використовують крутильні системи, де маятник, закріплюється горизонтально на нитці, яка має пружні властивості або до самої пружини, та підтримується за рахунок пружини у майже горизонтальному положенні. Такі типи системи за своїм принципом нелінійні. Коли маятник наближається до нестійкого положення, то його чутливість різко зростає. Така система носить назву астазірована. Широке застосування статичних гравіметрів використовується у гравірозвідці.

В таких гравіметрах недоліком є дрейф – це зміна показів приладу, який виникає з часом, спостерігається коли відбувається вимір в одній і тій самій точці. Причиною цього явища є неідеальна пружність пружин, які з часом будуть

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

зазнавати пластичну деформацію. Також причиною дрейфу є результат зміни температур, через що можуть виникати стиснення або розтяг вимірювальної системи, із за чого будуть виникати варіації вимірюваної величини g .

До динамічних гравіметрів відносяться струнні (Δg визначається по зміні частоти коливань навантаженої струни), балістичні (вимірюється час проходження вільно падаючого тіла через кілька точок) і маятникові (використовується залежність коливань вільного маятника від g) гравіметри [1].

1.2. Існуючі типи гравіметрів

Важливим фактором є вибір чутливого елементу системи гравіметра. Ефективність роботи авіаційної гравіметричної системи (АГС) цілком буде залежить від цього. Гравіметри АГС, які снують на сьогодні, мають як свої недоліки, так і переваги. Нові моделі гравіметра АГС активно розробляються та проводяться роботи по підвищенні точності їх вимірювання провідними країнами світу, такими як Японія, Німеччина, США, Росія.

Розглянемо декілька основних типів авіаційних гравіметрів.

Кварцовий гравіметр ГАЛ (гравіметр Аерогравіметричної лабораторії), розроблений і сконструйований в Інституті фізики Землі АН СНД під керівництвом Є.І. Попова (рис. 1) [2]. Цей гравіметр, було створено за принципом гравіметра з рідинною температурною компенсацією та горизонтальною крутильною ниткою. Деякі з цих моделей мають одну систему. Маятник з дзеркалами приварений до ниток, які натягнуті на кварцові рамки. Положення маятників повинно бути приближене до горизонтального, а маятники мають бути направлені у різні сторони. Міра прирощення g визначається через зміну кута розчину між самими маятниками. За допомогою оптичної системи відбувається реєстрація кута розчину.

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

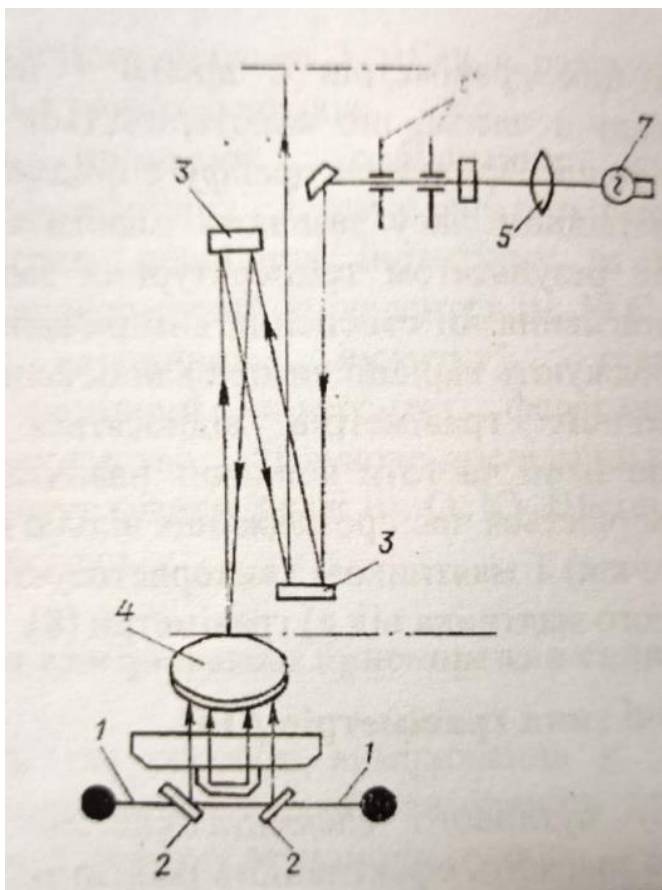


Рисунок 1.1. Кварцовий гравіметр ГАЛ: 1 – маятник, 2 – дзеркала, що встановлені на маятниках, 3 – дзеркала оптичної системи, 4 – об'єктив, 5 — конденсор; 6 – діафрагма; 7 – освітлювач

Систему поміщують у рідину, щоб уникнути температурних впливів, а сама коробка пружної системи розміщується у подвійному термостаті. У даному випадку рідина виконує демпфування системи та компенсує температуру. Для позбавлення подвійного впливу вертикальних і горизонтальних прискорень, знаходяться дві ідентичні системи, які в свою чергу розвернуті на 180° , а сам гравіметр встановлюють на гіроплатформу.

В таких гравіметрах отримана точність буде $\pm(5-10)$ мГал. Мірою змін g у даних гравіметрах є кут який визначається відхилом маятника від горизонтальної площини. Розрахункова шкала нелінійна, так як не використовується компенсаційний метод розрахунку. Такі гравіметри викликають труднощі в еталонуванні через великі припущення. Таким чином, при спостереженні можуть виникнути критичні систематичні помилки, щоб уникнути неточності у

спостережені краще разом з гравіметром використовувати системи, які базуються на компенсаційному способі виміру.

Кварцовий автоматизований набортний гравіметр (АНГ), було розроблено інститутом ВНДІГеофізики. Його особливістю є автоматична компенсація приросту g . Система є перезатушеною (рис. 2).

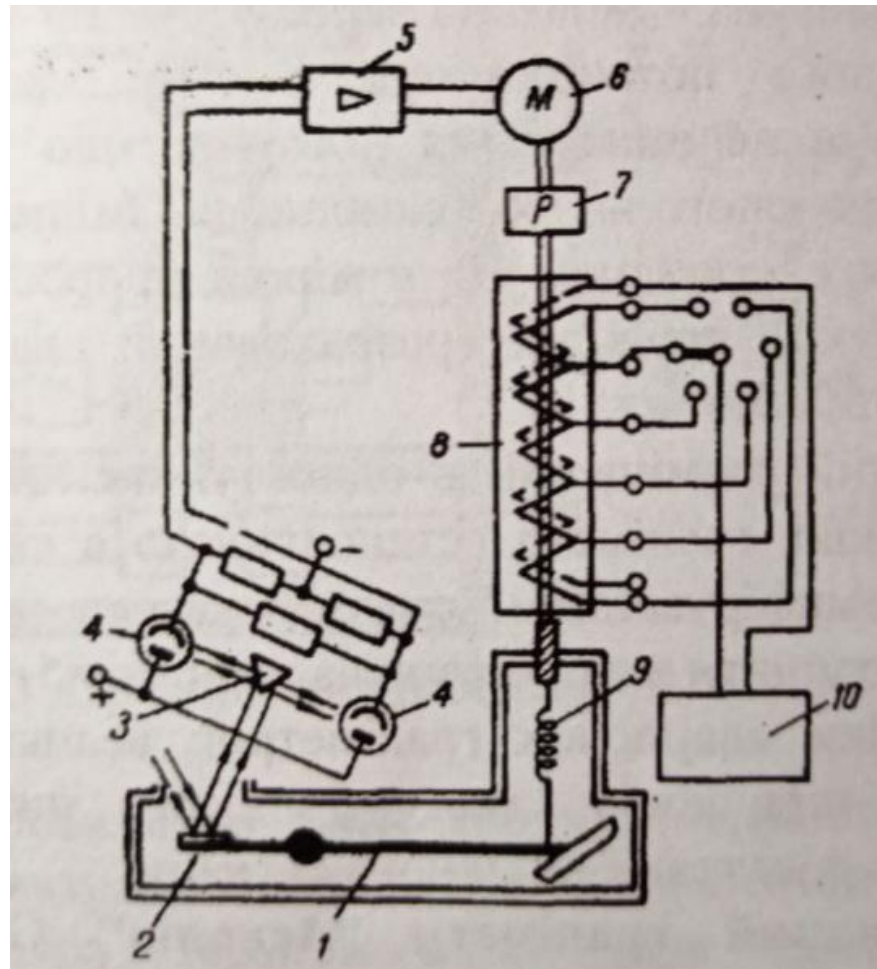


Рисунок 1.2. Кварцовий гравіметр АНГ

Як було сказано вище, гравіметр має особливість: володіє компенсацією приросту g разом із самописцем, який реєструє величину компенсуючої сили. Ці сили пропорційні рівні приросту сили тяжіння.

У гравіметр АНГ основний вузол – це кварцова чутлива система 1 яка складається із крутильної нитки, яка розміщена горизонтально та містить температурну компенсацію. Демпфером системи є рідина, яку було розміщено у кварцовій системі. На чутливий елемент системи маятника (дзеркало 2) падає

промінь світла з освітлювача. Розподільна призма 3 розділяє промінь, який був відображений на дві фотоопори 4, які є частиною мостової схеми Уїтстона. Коли маятник відхиляється, то міст втрачає рівновагу. За рахунок цього виникає фотострум, що йде до підсилювача 5. Коли здійснюється перетворення та підсилення, результатом буде струм який подається до реверсивного двигуна 6. Круговий рух двигуна за допомогою перетворювача трансформується у поступальний. Через це кварцова струна 9, яка закріплена нижнім кінцем до системи маятника розтягується або стягується. Ця пружина буде компенсувати і буде повертати маятник в його початковий стан, тобто до горизонтального положення. Через це зупинятиметься обертання двигуна та подача фотоструму.

Вісь вимірювального потенціометра 8 пов'язана з віссю двигуна через редуктор 7. Коли обертається вісь потенціометра, то повзунок здійснює переміщення, він здійснює зміну величини опору, який під'єднано до входу самописця. Також слід зазначити що переміщення повзунка що реєструє самописець 10, являє собою міру приросту g . Компенсаційна пружина яка виконує повний хід розрахована на вимірювання у діапазоні 5000мГад.

В оноступінчастий термостат розміщується прилад. Коли здійснюються дослідження, гравіметр встановлюється до карданного підвіса з масляним демпфуванням. Тестування гравіметра продемонстрували що він може вимірювати у діапазоні точності 5-10 мГал.

До недоліків кварцових гравіметрів відносяться наступні: постійна часу є досить великою; вихідний сигнал потребує фільтрації; досить мала швидкодія; невисока точність, низька чутливість.

Пружинний гравіметр «Асканія» GSS-3. В цьому приладі в чутливій системі використовується металева пружина 4, яка вироблена у вигляді циліндричної трубки. Через дію вантажа 3 вона розтягується. Щоб вантаж рухався тільки вертикально, там знаходяться розтяжки 5, за допомогою яких він утримується.

В цьому пристрої компенсація g забезпечується електромагнітним способом. В полі магніту 7 розміщена котушка 2, яка закріплена на нижній частині вантажу з компенсаційними обмотками. На станині пристрою знаходяться дві нерухомі

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пластини, у верхній частині вантажу. Там закріплена пластина б конденсатора, яка рухається і розташована посередині станини. Коли йде вимірювання g , то рух вантажу, який є поступальним, перетворюється ємнісним способом. Фазочутливий випрямляч випрямляє та підсилює змінний електричний сигнал. Система зворотного зв'язку передбачає в собі фільтр збуджуючого прискорення та електромагнітне демпфування. В вольтметр через фільтр надходить сигнал, який показує приріст g . Також мається цифрова реєстрація що теж дозволяє записувати виміри.

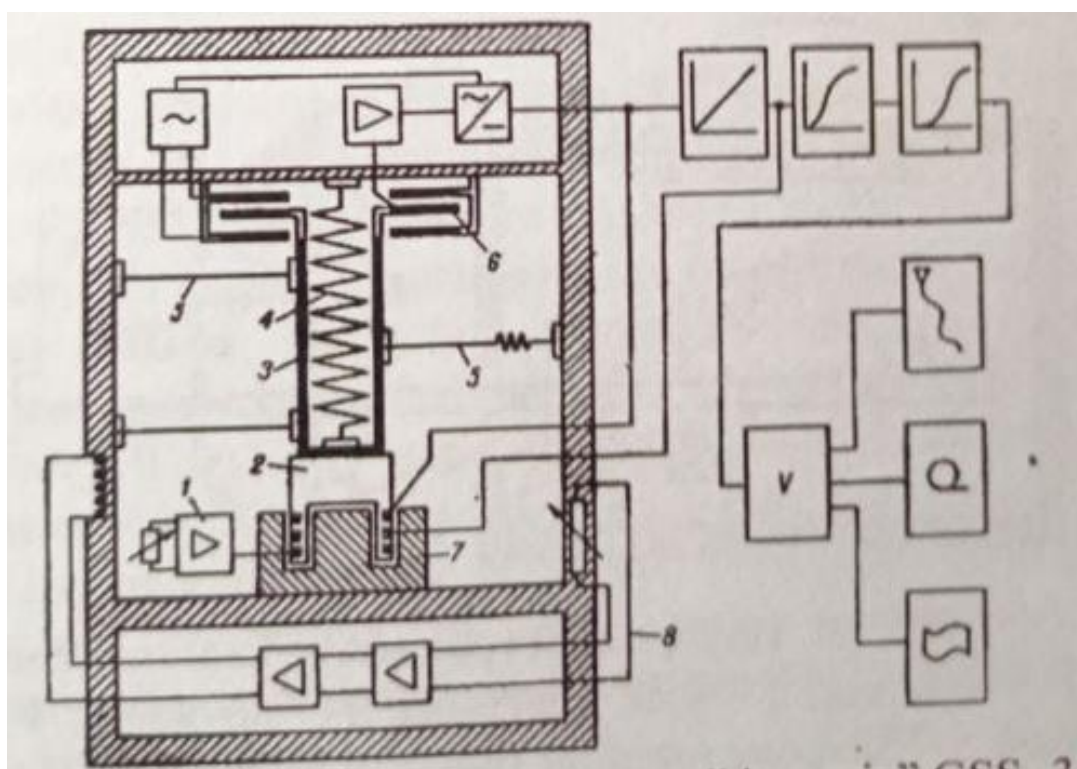


Рисунок 1.3. Пружинний гравіметр “Асканія” GSS -3

Гравіметр має електромагнітний термокомпенсатор 1, сам прилад знаходиться в електричному термостаті. Коли проводять спостереження то гравіметр розміщують на гіроплатформу. Точність такого струнного гравіметра 5-10 мГал.

Пружинний гравіметр Лакоста-Ромберга. В даному приладі в процесі вимірювань коли g вносяться відповідні поправки на вплив збурюючих прискорень.

Пружна система гравіметра Лакоста-Ромберга побудована за принципом маятника Голіцина. Відрізняється підсиленою підвіскою, що обмежує ступінь свободи руху маятника до одної, та збільшеним повітряним затуханням. Принципова схема гравіметричного датчика найбільш розповсюдженої моделі S наведена на рис. 4 [3].

Датчиком є горизонтально розташований маятник, що здійснює коливальні рухи щодо горизонтальної осі 2. До кінця маятника прикріплена також горизонтально розташована пружина 3. Натяг пружини регулюється мікрометричним гвинтом 5, який повертається за допомогою сельсин-приймача 4, що приводиться у дію від сельсин-датчика, встановленого в автоматичному зчитувальному пристрої. Демпфування коливань здійснюється за допомогою повітряного демпфера 6 [4].

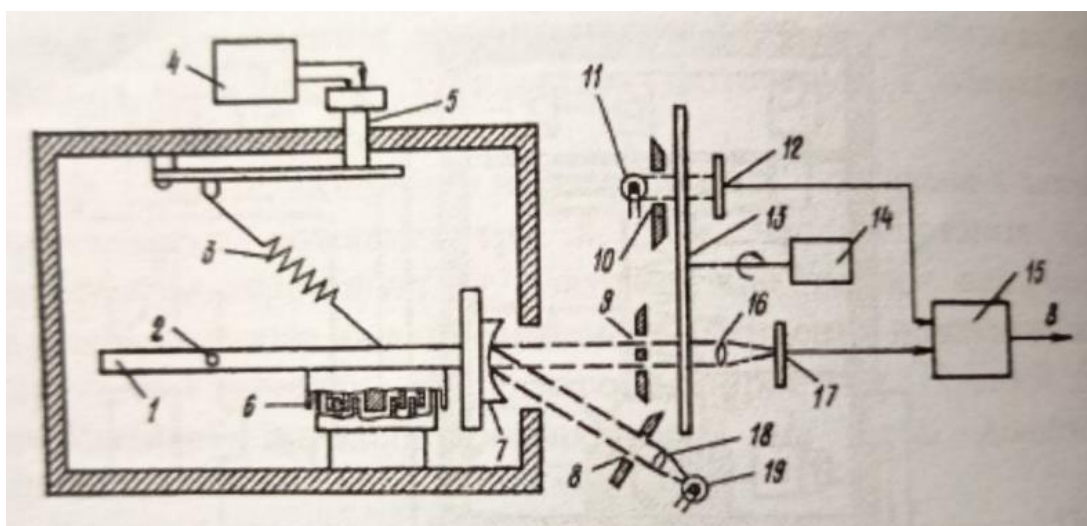


Рисунок 1.4. Пружинний гравіметр Лакоста-Ромберга: 1 – маятник, 2 – вісь маятника, 3 – пружина, 4 – сельсин-приймач, 5 – мікрометричний гвинт; 6 – демпфер; 7 – дзеркало, 8,9,10 — щілинні діафрагми, 11 — фазова лампа; 12 — фазовий фотоприймач; 13 переривчастий диск; 14 синхронний двигун; 15 — фазовий детектор; 16,18 – лінзи; 17 — фотоприймач; 19 – лампа

Коли здійснюють спостереження, на спеціальну платформу, яка стабілізована гіроскопом, встановлюють гравіметр. Горизонтальні акселерометри встановлюють на гіроплатформу щоб ввести поправки на ефект взаємних зв'язків.

Коли здійснюється процес спостереження автоматичної слідкуючої системи, яка діє на вимірювальну пружину, то маятник утримується близько до горизонтального положення. Також одночасно відбувається безперервна реєстрація маятника: в якому він знаходиться положенні відносно початкового; покази акселерометрів. Реєструється відлік по мікрометричному пристрою. Дані вимірів надходять до пристроїв, які їх обчислюють, в процесі обрахунку перетворюються у спеціальні поправки, потім інтегруються на інтервалі часу спостережень. Потім вже на Землі, результати осереднюються. Так відбувається отримання середнього результату приросту g за час за який відбувалось спостереження. На одному пункті спостережень в середньому потребується близько 20-30 хв.

До недоліків пружинних гравіметрів відносяться: через властивість пружинного елементу дрейф стає важкопрогнозованим; вихідний сигнал потребує фільтрації; невисока точність. Загалом, значення g має точність обчислень, яка рівна 10 мГал. У нових моделях гравіметра Лакоста є обчислюваний блок, який дозволяє введення даних про курс рухомого об'єкта та його швидкість. Це дозволяє в процесі вимірів вносити правки за ефект Етвеша.

Гіроскопічний гравіметр, оснований на інтеграторі лінійних прискорень PIGA. Кутова швидкість повороту гіроскопу навколо осі зовнішньої рамки є вихідним сигналом, який пропорційний g . У даного гравіметра точність вимірювань складає 2-5 мГал. Прилад має високу чутливість та широкий діапазон вимірювань.

До недоліків гіроскопічних гравіметрів відносяться: досить велика вартість, потребує фільтрації вихідного сигналу, має одну вісь чутливості, яка паралельна осі обертання гіроскопа щодо платформи. Поява інструментальних похибок PIGA обумовлюється обертанням навколо осі зовнішньої рами, гіроскопу.

Струнний гравіметр, був розроблений під керівництвом Лозинської А.М. В інституті геофізичних методів розвідки Росії (ДФУП ВНДІ).

Схематично струнний гравіметр зображений на рис. 5 [5]. На струну підвішена маса 2, через що під дією g утворюється сила інерції mg . Струна почне коливатися з певною частотою через вплив дії сили інерції. Ця частота буде залежати від густини самого матеріалу струни ρ та маси m і довжини l .

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювання g просто зведеться до виміру частоти. Проте, виміряти частоту вдасться тільки тоді, коли коливання будуть незатухаючими. Через це струна розміщена між полюсами постійного магніту 3. Струна почне вібрувати, коли на її кінці подати змінну напругу. Через те, що струна підключена у резонансний контур, коливання будуть підтримуватися завдяки підсилювачу застосованого у додатному зворотному зв'язку. Зміни g у даному випадку реєструються, як зміни частоти генератора. Щоб визначити зміну частоти її потрібно порівняти з еталонним генератором, тобто з його частотою.

Масу 2 потрібно забезпечити необхідним демпфуванням. Для цього потрібно, розташувати між полюсами демпферних магнітів 4. Маса виготовлена у формі циліндра з червоної міді. Коли у міді виникає рух, то утворюються струми Фуко, які створюють необхідне затухання. Маса 2 утримується горизонтальними тонкими стрічками, які не показані на схемі. В них пружинні сили малі порівняно з масою 2. Але це утримує її від руху у горизонтальній площині.

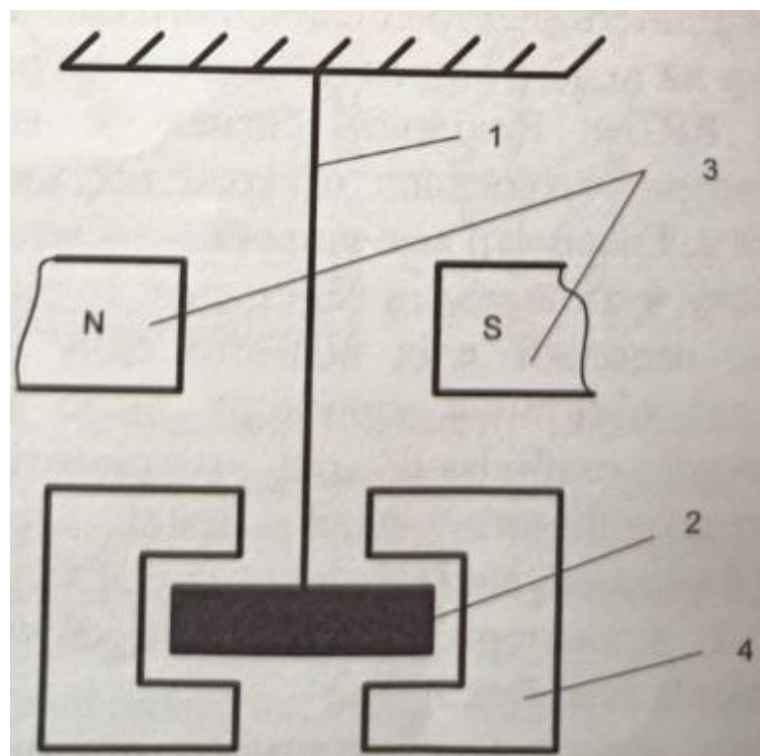


Рисунок 1.5. Струнний гравіметр: 1 – струна, 2 – вантаж, 3 – магніт, 4 – демпферний магніт

Частота коливань стрічкової струни з прямокутним перерізом пов'язана з g рівнянням [6]

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{mg}{p}}, \quad (1.1)$$

Як можна побачити з рівняння (1), між f та g існує нелінійна залежність.

Струна являє собою стрічку з берилієвої бронзи з перерізом 0,25-0,02 мм і довжиною 50 мм [6]. Вантаж масою в 100 г. приведе до частоти коливань струни 1000 Гц.

Точність даного струнного гравіметра (СГ) досягає 2-5 мГал.

До основних недоліків струнного гравіметра відносяться: потребує фільтрації вихідного сигналу, також є потреба фільтрації вхідного сигналу, можливі виникнення резонансів якщо СГ виконувати у простому вигляді; характеристика є не лінійною.

В університеті КПІ ім. Ігоря Сікорського на кафедрі приладобудування під керівництвом О.М. Безвесільної було розроблено та були проведені дослідження різних гіроскопічних гравіметрів, точність яких при лабораторних умовах 2-3 мГал.

З вище розглянутих гравіметрів можна сказати що при роботі на літаку вони мають досить невелику точність 2-10 мГал. Дані, які отримуються у результаті роботи всіх гравіметрів підлягають математичної обробці на Землі. Ця процедура досить довга, і результату можна чекати декілька місяців.

1.3. Новий вібраційний (тензометричний) гравіметр автоматизованої авіаційної системи (ВГ АГС).

У попередньому параграфі були визначені основні недоліки існуючих струнних гравіметрів АГС які можна подолати повністю чи частково, якщо в якості гравіметра АГС буде застосований новий тензометричний (вібраційний) гравіметр (ТГ).

Використання тензометричного гравіметра у складі системи АГС зображено на рисунку 6.

Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння (рис. 6.) містить систему 1 визначення навігаційних параметрів, вимірювач 2 висоти і встановлений на двовісній платформі гравіметр 3, виходи яких підключені до входів БЦОМ 4 [15].

В герметичному корпусі 8 розміщено чутливий елемент гравіметра який зроблено у вигляді двох однакових вертикальних тензометричних проволокон 6, 7. Пружинним елементом 12 до герметичного корпусу 8 на протилежні бокові сторони прикріплена інерційна маса (ІМ), а вже до самої маси прикріплена одним кінцем до низу, а іншим до верху тензометрична проволока 6, 7. Кінці вертикальних проволокон з'єднані з тензометричним гравіметром 10, 11, та ці виходи з'єднанні з виходами суматора 9.

Щоб виміряти аномалії прискорення сили тяжіння g , АГС працює наступним чином.

Вертикальне прискорення $\ddot{h}$ літака і прискорення сили тяжіння діє на інерційну масу 5. Також на неї діють сумарні інструментальні похибки Δi через залишкову неідентичність конструкцій однакових тензометричних проволокон, тому що виливає вологість, тиск та зміна температури зовнішнього середовища (рис. 7). Рівняння сил уздовж осі Oz чутливого елемента гравіметра, спрямованих уздовж вертикальних тензометричних проволоках дане рівняння буде мати вигляд:

$$f_z = f_1 + f_2 = mg + m\Delta\ddot{h} + \Delta i + mg - m\Delta\ddot{h} - \Delta i = 2mg, \quad (1.2)$$

де:

f_1 – вихідний сигнал з тензометричного генератора 10;

f_2 – вихідний сигнал з тензометричного генератора 11;

f_z – вихідний сигнал з суматора 9;

m – вага інерційної маси.

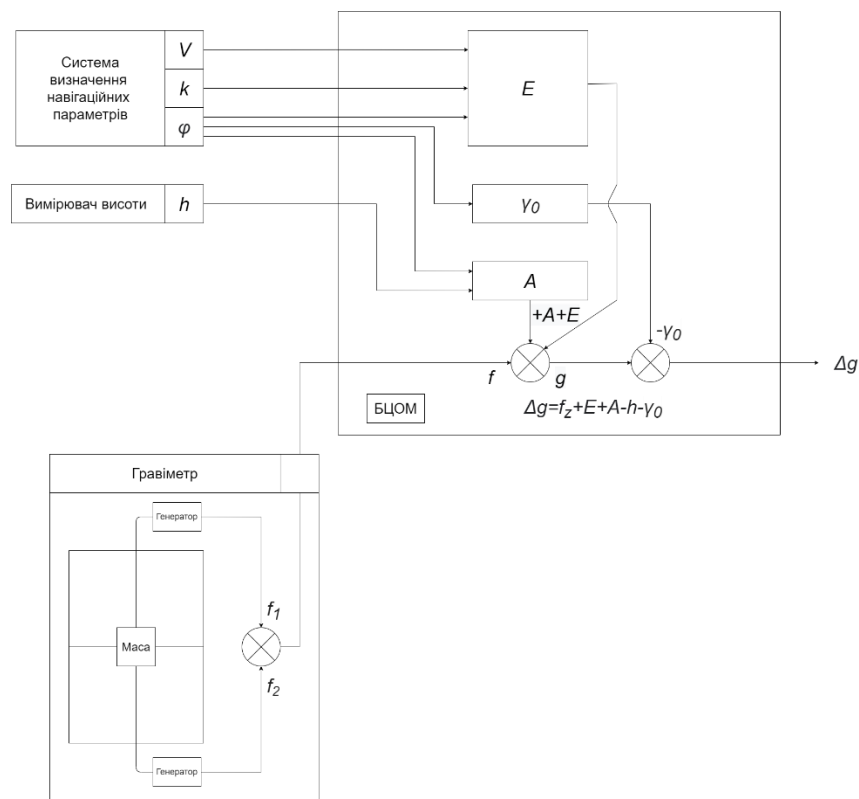


Рисунок 1.6. Вібраційний гравіметр авіаційної гравіметричної системи [6]

З рівняння (2) можна побачити, що сигнал на виході суматора 9 не містить сумарних інструментальних похибок Δi та вертикальних прискорень $\ddot{h}$, натомість містить корисний сигнал прискорення сили тяжіння, значення якого подвоєно.

Вихідний сигнал f_z , з суматора 9 подається у БЦОМ 4, куди також подаються вихідні сигнали від системи 1 визначення навігаційних параметрів та вимірювача 2 висоти. У БЦОМ 4 обчислюється значення аномалії Δg прискорення сили тяжіння за формулою [5]:

$$\Delta g = f_z + E + A - \gamma_o, \quad (1.3)$$

де:

f_z – вихідний сигнал тензометричного гравіметра 3;

E – поправка Етвеша;

A – поправка за висоту;

γ_o – довідкове значення прискорення сили тяжіння.



Рисунок 7. Принцип дії нового ВГ АГС

З рівняння (3) можемо побачити, що відсутня складова похибки $\ddot{h}$. У відомих струнних гравіметрів ці гравіметри вимірюють $\ddot{h}$ з g одночасно. З цього приводу можна точно сказати, що це приведе до великих похибок. Величина $\ddot{h}$ у 10^3 більша прискорення сили тяжіння g . Запропонований тензометричний двоканальний гравіметр забезпечує суттєве підвищення точності вимірів ПСТ.

Також у вихідному сигналі відсутні інструментальні похибки та похибки від неіндентичності каналів двох струнних чутливих елементів Δi .

Таким чином, бачимо, що точність нового запропонованого вібраційного тензочутливого гравіметра буде значно вищою порівняно з відомими СГ Лозинської А.М.

1.4. Висновок до першого розділу

Зважуючі на отриману інформацію про сучасні гравіметри, які використовуються на даний час при проведенні авіаційних гравіметричних робіт, було встановлено їх принцип дії, та їх можливості. Виявлено їх основні недоліки:

- низька точність вимірювання, яка знаходиться в діапазоні (3-10 мГал);
- обов'язкова необхідність фільтрації вихідного сигналу гравіметра;
- швидкодія досить низька та відсутня можливість оперативної обробки інформації та інші.

В ході роботи було запропоновано новий вібраційний (тензометричний) гравіметр, який зможе забезпечити вищі точність (1 мГал) та швидкодію за рахунок повної автоматизованої обробки вихідного сигналу.

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Вибір матеріалу дроту для тензометричного гравіметра

До вибору матеріалу, з якого буде виготовлена тензометрична проволочка, потрібно віднестись відповідально. Так як дріт є найважливішою ланкою у перетворенні сили натягу дроту у поперечні коливання. Важливим є вирішення наступних питань при виборі матеріалу:

- 1) це вибір матеріалу чутливого перетворювача, тобто матеріалу самого дроту;
- 2) потрібно визначити геометричні розміри проволочки;
- 3) важливим є також вибір конструкції тензометричного дроту та те, як потрібно кріпити його у пружному елементі нашого датчика.

Матеріал, з якого буде виготовлена проволочка, повинен мати: високу міцність при впливі вібрації, мати можливість при малих похибках отримати максимальну чутливість, володіти стабільністю та мати температурну незалежність пружних якостей, важливо щоб температурний коефіцієнт лінійного розширення мав конкретне значення.

У відомих аналогів, а саме у струнних гравіметрах, при виготовленні для чутливого елемента використовують матеріали: вольфрам, вуглецеву сталь, олов'яно-цинковий сплав, елінвар та сплав берилієвої бронзи з прямокутним або круглим поперечним перерізом. У нашому випадку вибір перерізу досить важливий, так як у деяких відомих аналогів, коли було використана, круглу форму поперечного перерізу при, то коливанні дроту чи струни СГ можна було спостерігати прецесію площини їх коливань. Це викликало ще додаткову частотну нестабільність. З урахуванням відомих фактів вибір очевидно падає на прямокутну форму поперечного перерізу, але співвідношення сторін повинно виконуватися 1:10. Це дозволить майже повністю позбутись коливань прецесії площини.

В оглядовій частині ДПБ вказано, що недоліком струнних гравіметрів є нелінійна характеристика та можливість виникнення резонансів. Такі проблеми

					<i>ДПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

постають і у тензометричному гравіметрі тому пошук привів до монографії О.М. Безвесільної та Л.О. Чепюк «Струнний гравіметр автоматизованої авіаційної системи». Вирішенням даних проблем став тензометричний матеріал. Даний матеріал має лінійну залежність зміни внутрішнього опору R від навантаженого зусилля деформації.

Приведемо порівняльну характеристику тензометричних матеріалів наглядно у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Характеристики тензочутливих матеріалів для використання ВГ[12]

Назва	Матеріал		
	Константан МНМц-40-1,5	Сплав НМ23ХЮ	Бронза берилієва Cu-Be
Коефіцієнт тензочутливості, S	2,1	2,1+0,05	2,2
Діаметр, d , мкм	10; 20; 30	10; 20; 30	10; 20; 30
Питомий опір, ρ_n Ом мм ² /м	0,46	1,45...1,60	0,68
Модуль пружності, E . Па	$1,48 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,29 \cdot 10^{11}$
Межа міцності при розтягуванні σ_b , Па	$65 \cdot 10^7$	$130 \cdot 10^7$	$140 \cdot 10^7$
Коефіцієнт Пуассона, σ			0,32...0,36

З таблиці 2.1. можемо зробити висновок що потрібний матеріал це берилієва бронза, так як вона має кращі характеристики ніж інші матеріали. Тому вибір матеріалу тензометричної проволочки падає на сплав берилієвої бронзи (Cu-Be).

2.2. Спосіб закріплення тензочутливого дроту у герметичному корпусі

Вузли закріплення тензометричного дроту, а саме його кінців будуть впливати на метрологічні характеристики. Якщо конструкція закріплення буде недосконалою, то з часом при впливі зовнішніх чинників будуть виникати нестабільні покази приладу. Також такі проблеми можуть виникнути на початку використання. Тому слід врахувати певні вимоги:

1. Площина, на яку буде кріпитися наш дріт повинна бути досить великою, щоб уникнути зминання проволочки та забезпечити надійність кріплення;
2. Коливальна частина проволочки у закріпленому стані повинна здійснювати однакове коливальне переміщення: вліво чи вправо від початкового стану. Цього можна досягти при закріпленні при збірці: потрібно прошліфувати і прополірувати поверхні площини до самої осі закріплення нашого дроту. Також важливим необхідним додатком стане недопускання вигину дроту у точках виходу з конструкції закріплення. Так як це приведе до не виконання попереднього пункту;
3. Температурний фактор один з головних наших ворогів, це стосується вибору матеріалу кріплення. Різний матеріал має свій температурний коефіцієнт лінійного розширення. Тобто, при зміні температури можна буде спостерігати зміну довжини струни. З цього випливає якщо обрати матеріал м'якший за матеріал дроту це призведе до порушення коливального процесу проволочки. А коли використаємо занадто твердий матеріал для кріплення, при зміні температури дріт може пошкодитись або порватись, Тому слід використовувати фізично споріднені матеріали до чутливого елемента;
4. Також конструкція має передбачати простоту закріплення та розміщення у необхідній точці так щоб, напруга на дріт проходила рівномірно;

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

5. Потреба в ізоляції проволочи в місці закріплення корпусу постає через магнітоелектричне збудження. Додатком до цього стане надійне закріплення пристосування закріплення дроту з іншими частинами ТГ;
6. Перед закріпленням у конструкцію, проволочка повинна перебувати у відповідному натягу певний час, і коли відбудеться закріплення величина натягу не повинна відрізнятись;
7. Для зняття механічних напружень, вузол кріплення потрібно піддати штучному старінню через температурний вплив 100-200 °С на протязі 3-7 годин.

Пошук потрібного матеріалу привів до робіт А.М. Лозинської, де вона у якості такого матеріалу для кріплення, який нам потрібно рекомендує «нейзильбер».

Що стосується конструкції, то вибір впав на кріплення між площинами (рис. 2.1.). На даний час це є найкращим способом закріплення стрічкової проволочи. Дана конструкція закріплює дріт між двома паралельними площинами, які добре оброблені та підігнані одна до одної. У даній конструкції наша тензометрична проволочка у місці закріплення переходить в широку лопаточку, що закріплена на площині через затискання планки та двох гвинтів. Це спосіб кріплення на протязі довгого часу значно збільшує стабільність натягу.

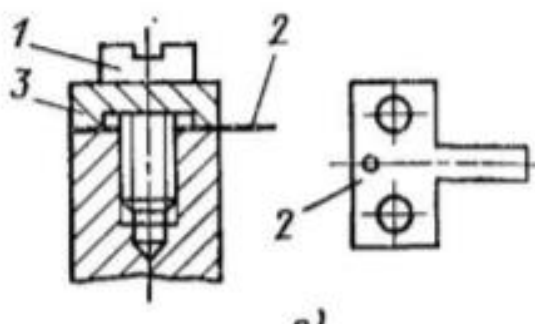


Рисунок 2.1. Кріплення між площинами: 1 – гвинт, 2 – тензометрична проволочка, 3 – планка

2.3. Математична модель ТГ

Тензометричну проволоку можливо описати, як коливальну механічну систему. Коливання відбуваються в системі ТГ через дію g на інерційну масу.

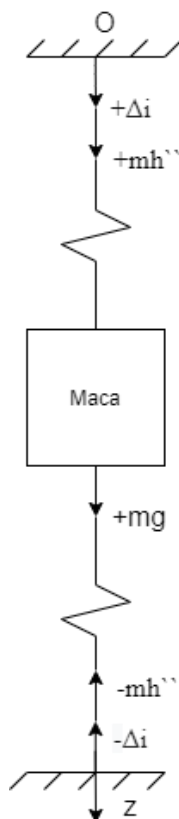


Рис. 2.2. Коливальна система тензометричного гравіметра

$$G = mg, \quad (2.1)$$

де g_z – прискорення сила тяжіння; m – маса.

Коли маса здійснює рух, то на неї діє сила пружності дроту, інерційна сила самої маси та сила опору через дію вертикального прискорення літального апарату (ЛА).

Сила пружності дроту, рівняння відповідно до закону Гука, матиме вигляд:

$$F_{np} = -kx, \quad (2.2)$$

де F_{np} – сила пружності проволоки; k – коефіцієнт пружності матеріалу проволоки; x – рух маси ТГ відносно початкового положення.

Рівняння сили опору яка діє через рух інерційної маси:

$$F_{on} = -n \frac{dx}{dt}, \quad (2.3)$$

де n – коефіцієнт затухання руху.

Прирівнюємо рівняння (2.2) і (2.3) до (2.1):

$$mg_z = -n \frac{dx}{dt} - kx. \quad (2.4)$$

Коли урахуємо інерційну силу $F_i = m \frac{d^2x}{dt^2}$ рівняння набуде вигляд:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + n \frac{dx}{dt} + kx = -mg_z. \quad (2.5)$$

Якщо ми розділимо рівняння руху ТГ (2.7) на m , то отримаємо [36]:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \xi \omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = -g_z, \quad (2.6)$$

де ξ – коефіцієнт демпфування; ω_0 – власна частота СГ.

Через те, що конструкція ТГ є інерційною, першими двома складовими будемо нехтувати у подальшому використанні.

Рівняння руху ТГ на Землі, має вигляд $g_z = -\frac{\kappa}{m}x$. А в умовах на ЛА складову $m \frac{d^2x}{dt^2}$ необхідно врахувати. У тензометричному гравіметрі, як було продемонстровано в описі вище ДБП, вплив $\ddot{h}$ можемо не враховувати, так як воно скорочується. Це є однією з переваг ТГ.

Застосовуючи до рівняння (2.5) перетворення Лапласа, зможемо отримаємо:

$$mp^2x(p) + npx(p) + kx(p) = -mg_z(p), \quad (2.7)$$

де $x(p)$ – зображення по Лапласу руху інерційної мас; $g_z(p)$ – зображення Лапласа g уздовж осі чутливості ТГ.

Передатна функцію $W(p)$ ТГ матиме вигляд:

$$W(p) = \frac{x(p)}{g_z(p)} = \frac{-m}{mp^2 + np + \kappa}. \quad (2.8)$$

Напруга на вході ТГ прямо пропорційна руху маси, через функцію (2.8) зможемо записати нашу передатну функцію нашого ТГ через канал прискорення сили тяжіння. Вихідна напруга матиме вигляд:

$$W_{ТГ}(p) = \frac{K_{ТГ}}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (2.9)$$

де $W_{ТГ}(p)$ – передатна функція ТГ; $K_{ТГ}$ – коефіцієнт передачі ТГ який статичний; T_1 і T_2 – коефіцієнти сталої часу другого порядку.

Врахуємо остаточні нелінійності, та за-пишемо рівняння (2.7) вже у вигляді [22]:

$$m\ddot{x} + \dot{x}[2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)] + \omega_0^2 x = N \sin \omega t, \quad (2.10)$$

де $L = m w_a$, $N = m w_b$ – є параметрами вібрації; w_a , w_b – є амплітудами вібраційних прискорень.

Прийmemo за те, що $M(t) = 2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)$, тоді як $D(t) = \omega_0^2$, тоді вираз (2.10) набуде вигляду:

$$\ddot{x} + \dot{x}M(t) + D(t)x = 0, \quad (2.11)$$

де $M(t)$ та $D(t)$ – наші періодичні функції.

В рівнянні (2.11) можна звести $M(t) = \text{const}$.

Рівняння вигляду (2.11) без зміни характеристик показників можна звести до аналогічного, де $M(t) = \text{const}$.

$$\int_0^t M(t_1) dt_1 = \Psi t + M_1(t), \quad (2.12)$$

де $\Psi = 2n$; $M(t_1) = \int_0^t (M(t_1) - \Psi) dt = \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)$.

Проводимо зміни:

$$x = e^{-\frac{1}{2}M_1(t)} x' = e^{-\frac{1}{2\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)} x', \quad (2.13)$$

$$\ddot{x}' + 2n\dot{x}' + F(t)x' = 0, \quad (2.14)$$

де

$$F(t) = \omega_0^2 + v_0 \sin(\omega t + e + \sigma_8), \quad (2.15)$$

В якому $\sigma_8 = \arctg \frac{\omega}{2n}$; $v_0 = \frac{L\sqrt{\omega+4n^2}}{2}$.

Ураховуємо вирази (2.12), (2.14) та (2.15) набуває вигляду:

$$\ddot{x}' + 2n\dot{x}' + [\omega_0^2 + v_0 \sin(\omega t + e + \sigma_8)]x' = N \sin \omega t, \quad (2.16)$$

Рівняння (2.16) є кінцевим для моделювання на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ).

А рівняння руху АГС з тензометричним гравіметром, виглядає [9]:

$$\begin{aligned} \kappa x = & -g_z - \frac{v^2}{r} + 2e \frac{v^2}{r} \left[1 - 2 \cos^2 \phi \cdot \left(1 - \frac{\sin^2 k}{2} \right) \right] - 2\omega_3 v \sin k \cos \phi \\ & + 2\dot{h} \frac{e}{r} v \cos k \sin 2\phi - 2 \frac{\gamma_0 h}{r} - \omega_3^2 h \cos^2 \phi, \end{aligned} \quad (2.18)$$

де g_z – прискорення сили тяжіння уздовж осі z ТГ; v – швидкість ЛА; r – радіус місця де знаходиться ЛА; e – стиск еліпсоїда; ϕ – широта; k – курс ЛА; ω_3 – кутова швидкість, з якою обертається Земля; h – висота ЛА; $\dot{h}$ – вертикальна швидкість.

Бачимо, що у рівнянні АГС з ТГ відсутня складова впливу вертикального прискорення. Тобто, підтверджено, точність що АГС з ТГ буде вищою від відомих гравіметрів.

2.4. Реєстрація вихідного сигналу ВГ

Однією з переваг АГС з тензометричним гравіметром є частотний вихід, що надає змогу реєструвати дані вимірювань у цифровій формі, не здійснюючи проміжних перетворень сигналів виходів приладів.

Разом з реєстрацією сигналу на пристрій, є необхідність у візуальному контролі за працюючою апаратурою та потреба у аналізі даних вимірювань у будь-який час, коли це буде потрібно. Тож у даному випадку потрібно щоб запис даних здійснювався у зручній формі, для того, щоб у разі необхідності виконати ручну обробку інформації на конкретних ділянках вимірювання.

Реєстрація даних вимірювань ведеться за допомогою реєструючого пристрою, який є багатоканальним. Проводиться порівняння частоти Сигналів з тензометричного гравіметра і вимірювача вертикальної швидкості з деякими еталонними сигналами f_e . Обрахунки частоти $\Delta f_j = f_j - f_3$ реєструються приймачами відповідних каналів. Реєструючий пристрій реєструє долі секундні відрізки часу, які подаються з приладу який показує час. Це, зазвичай, хронометр або годинник (рис 2.3). Еталонна частота f_e для приладу обирається різною, щоб за умов збурюючих прискорень та заміни

вертикальної швидкості літального апарату не було зміни знаку, тому що розшифровка буде нечіткою.

З іншого боку максимальна частота биття, а саме її величина обмежена можливістю самого реєструючого пристрою та швидкістю руху стрічки. Реєструючи пристрої моделей Н-230 і Н-326 реєструють струм з використанням їх максимальної частоти в діапазоні 6-8 мГц, ураховуючи, що швидкість протяжки стрічки буде 10 мм/сек. Виходячи з цього, розумно буде зробити незбуджену середню частоту биття в діапазоні 3-4 мГц.

Для виконання даних умов, коли присутні збудючі прискорення до 50 Гал, приходить необхідність понижати частоту гравіметра з приблизно 1000 Гц до 120 – 130 Гц. Шляхом простого ділення частоти на 8. На даній частоті один цикл $\frac{2j}{f} \approx 16$ Гал.

Для порівняння сигналу ТГ з еталонною частотою, стабільність гравіметра повинна бути $2 \cdot 10^{-7}$. Вона є виходом роботи на взаємодію термостатичного кварцового генератора та частотного дільника.

Для контрольного запису даних ТГ еталонна частота повинна бути $f_e = 1000/8 = 125$ Гц. З цього виходить, що приблизна частота ТГ дорівнює 1025 або 975 Гц.

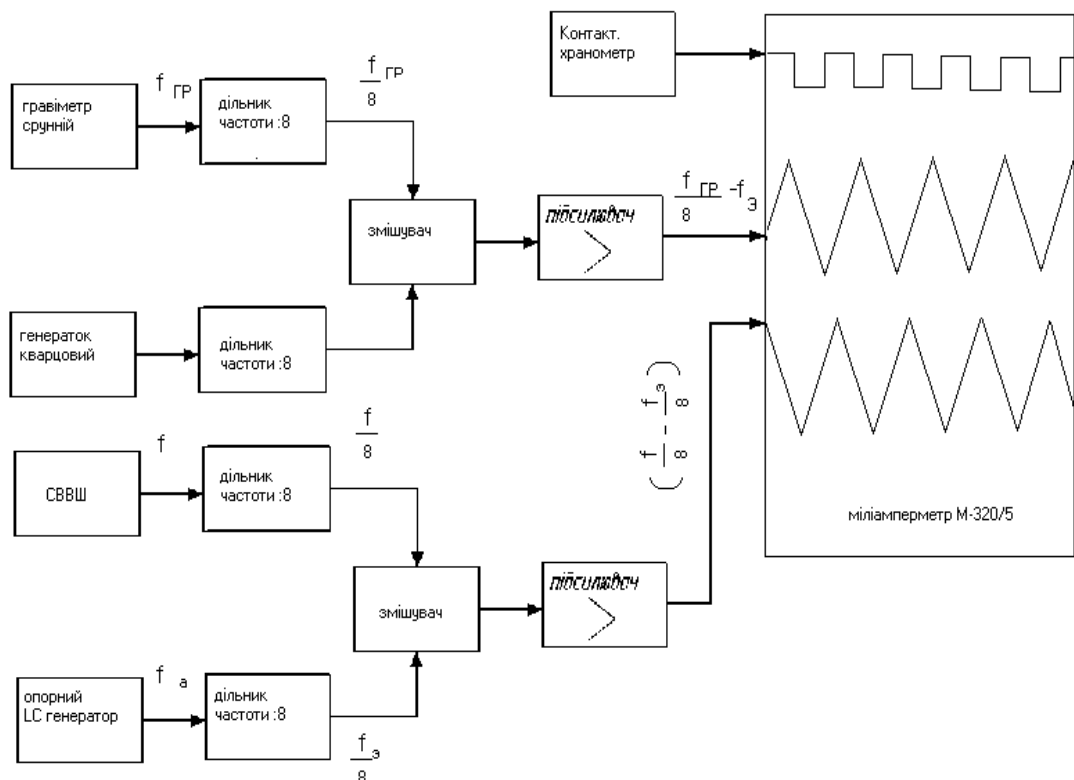


Рисунок 2.3. Схема реєстрації вихідного сигналу

Коли здійснюється обробка запису одиничного показу з пристрою, точність може бути у межах $\delta\lambda = 0,1 - 0,2$ циклу. Якщо час усереднення буде $\Theta=120$ с і $\tau=120$ с (конкретно при $\Delta t=1$ с $K=120$), то отримаємо в момент (час) зняття відліку по тензометричному гравіметру, що дорівнюватиме:

$$m_g = \frac{c\sqrt{12}}{\theta\sqrt{K}} \delta\lambda \approx \frac{16 \cdot 10^3 \sqrt{2}}{120\sqrt{120}} \delta\lambda \approx 2 - 4 \text{ мГал, це приблизно } 2100 \text{ Гц.}$$

Це ж значення ділять на 8, а потім вже проводиться порівняння з східчастим LC генератором, який має відносну точність, що не перевищує 10^{-3} .

Так свідчення ВВШ на рухомій стрічці реєструє частоту у вигляді $(\frac{f}{8} - F_9)$. Ціна поділу одного циклу дорівнює 16 см.

Частота опорного LC генератора встановлюється за допомогою деякого перемикача, коли вертикальна швидкість дорівнює нулю то різниця частоти $(\frac{F}{8} - F_9)$ була близько 4 Гц. В даному випадку, коли варіація вертикальних швидкостей в межах $\pm 0,64$ м/сек, то різницева частота буде мати діапазон у межах $0 \dots 8$ Гц.

Якщо точність показів ТГ при фіксуванні з носія $\delta\lambda \approx 0,2$ циклу, то вираховування буде рівно:

$$m_z = \frac{\sqrt{\left[16^2 + \left(40 \frac{\rho_0}{\rho}\right)^2\right] \cdot 2 \cdot \delta \cdot \lambda \cdot 10^3}}{120 \cdot 120} \approx 2 \text{ мГал.}$$

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.5. Вхідний сигнал вібраційного гравіметра

На масу ВГ через дію ПСТ g_z утворюється інерційна сила $F_z=mg_z$. А опір матеріалу дроту:

$$R = p_n \frac{l}{q}, \quad (2.19)$$

де p_n – електричний опір матеріалу дроту, Ом*мм;

l – довжина дроту, мм;

q – площа поперечного перерізу дроту, мм²;

Рівняння (19) логарифмуємо:

$$\ln R = \ln p_n + \ln l - \ln q, \quad (2.20)$$

Вираз (20) диференціюємо, та залишимо його у частинних приростах:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta p_n}{p_n} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta q}{q}, \quad (2.21)$$

Тепер отриманий вираз 21, за-пишемо у вигляді:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} \left(\frac{\frac{\Delta p_n}{p_n}}{\frac{\Delta l}{l}} + 1 - \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta l}{l}} \right), \quad (2.22)$$

Те берем до уваги що:

$$-\frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta l}{l}} = 2\sigma, \quad (2.23)$$

де σ – коефіцієнт Пуассона.

Тепер можемо записати вирази (22) та (23), та отримати:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} \left(\frac{\frac{\Delta p_n}{p_n}}{\frac{\Delta l}{l}} + 1 + 2\sigma \right), \quad (2.24)$$

За законом Гука маємо що:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F_z}{Eq}, \quad (2.25)$$

де E – модуль пружності матеріалу в нашому випадку берилієва бронза, ($E = 1,29 \cdot 10^{11}$ Па).

Робимо підстановку виразу (25) у рівняння (24) та отримаємо:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{F_z}{Eq} \left(\frac{\frac{\Delta p_n}{p_n}}{\frac{F_z}{Eq}} = 1 + 2\sigma \right), \quad (2.26)$$

У тензометричній проволочі $\frac{\frac{\Delta p_n}{p_n}}{\frac{F_z}{Eq}} = \ll 1 + 2\sigma$, з цієї залежності видно що першою складовою (26) можна знехтувати, тоді (26) набуде вигляду:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{F_z}{Eq} (1 + 2\sigma), \quad (2.27)$$

Не забуваємо, що $F_z = mg_z$, то з рівняння (27) отримаєм:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta g_z}{g_z} \frac{m}{Eq} (1 + 2\sigma), \quad (2.28)$$

З виразу (28) можемо звернути увагу, що відносна зміна опору матеріалу дроту рівна $\frac{\Delta R}{R}$, яка пропорційно відносна зміні ПСТ $\frac{\Delta g_z}{g_z}$.

$$\frac{\Delta U}{U} = l \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta g_z}{g_z} \frac{l * m}{Eq} (1 + 2\sigma) = \frac{\Delta g_z}{g_z} k, \quad (2.29)$$

$$\text{де } k = \frac{l * m}{Eq} (1 + 2\sigma).$$

З формули (29) можемо спостерігати, як у тензометричному гравіметрі з чутливим елементом (дротом) з тензометричного матеріалу берилієвої бронзи відрізняється від струнних гравіметрів, ти що вхідна напруга $\frac{\Delta U}{U}$ має пряму пропорційну залежність відносно зміні прискорення сили тяжіння $\frac{\Delta g_z}{g_z}$, де k – коефіцієнт пропорційності. З цього випливає що це є значною перевагою ТГ від уже відомих СГ. Так як у СГ залежність напруги на виході через зміну ПСТ хоч коли є нелінійною.

Проведемо розрахунки за формулою (29) $\frac{\Delta U}{U}$:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta g_z}{g_z} (1 + 2\sigma), \quad g_z = 9,91100376 * 10^{-3} \frac{\text{мм}}{\text{с}^2} \text{ (на широті м. Києва)}$$

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Для матеріалу берилієвої бронзи коефіцієнт Пуассона $\sigma = 0,35$, а напруга $U = 1,388$.

З цього маємо:

$$\Delta U = \Delta g_z * \frac{1,388 * 10^{-3}}{9,91100376} (1 + 2 * 0,035) = \Delta g_z * 0,238 * 10^{-3} \text{ В.}$$

2.6. Розрахунок точності ВГ

На сумуючу похибку виміру ВГ можуть впливати:

- інструментальна похибка ВГ;
- через дію вертикальних збурюючих прискорень;
- виникнення похибок через дію горизонтальних збурюючих прискорень;
- похибки яка виникає при певній висоті польоту;
- похибки при урахуванні ефекту Етвеша;
- похибки через помилки другого порядку

Інструментальні похибки зазвичай виникають в наслідок зміни основних конструкційних параметрів приладу, від початкових номінальних значення, недостатня точність збірки приладу та виготовлення компонентів [5].

Для розрахунку інструментальних похибок є основна робоча формула:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\lambda S}}, \quad (2.30)$$

А істинне показання ПСТ вираховується за формулою:

$$g = \frac{4l^2 \lambda S f^2}{\mu}, \quad (2.31)$$

Відносна похибка вихідного сигналу рівна сумі всіх відносних похибок параметрів:

$$\frac{\Delta g}{g} = 2 \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta S}{S} + 2 \frac{\Delta f}{f} - \frac{\Delta \mu}{\mu}, \quad (2.32)$$

Зміна ПСТ, його відносне значення повинно не перевищувати $\frac{\Delta g}{g} = 0,2 * 10^{-5}$.

Щоб розібратися потрібно детальніше розглянути кожну з складових похибки:

- відносне збільшення довжини дроту $\frac{\Delta l}{l}$:

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta F}{ES}$ (згідно закону Гука), де $\Delta F = \mu \Delta g$; Δg – границя вимірювання ПСТ.

- Через зміну густини матеріалу проволочки $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 0$.
- Похибка через вплив зовнішніх складових навколишнього середовища, виникає не стабільність частот $\frac{\Delta f}{f}$, яка виникає через зміну параметрів самого дроту.

Щоб обрахувати температурну похибку, скористаємося основною формулою ВГ (1), але зобразимо у вигляді:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Mg}{ml}}, \quad (2.33)$$

де $m = \lambda Sl$ – маса дроту, яка не міняється при температурних змінах.

Довжина тензометричного дроту змінюється від температурного впливу по закону:

$$\Delta l = l a_{\text{дроту}} * \Delta t, t = \frac{+50^{\circ}C}{-50^{\circ}C}, \quad (2.34)$$

де $a_{\text{дроту}}$ – коефіцієнт температури лінійного розширення матеріалу дроту;

Δt – міра змін температури.

Зважаючи на це довжина коливання дроту змінюється згідно:

$$\Delta f = \frac{\delta f}{\delta l} \Delta l, \quad (2.35)$$

$$\text{де } \frac{\delta f}{\delta l} = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Mgl}{m}} * \frac{1}{l^2} \text{ і } \Delta f = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Mgl}{m}} * \frac{1}{l^2} \Delta l.$$

Через зміну температури відносна зміна частоти буде мати вигляд:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_1 = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Mg}{m}} \sqrt{l} \frac{1}{l^2} * 2 \sqrt{\frac{ml}{Mg}} \Delta l = -\frac{1}{2} a_{\text{дроту}} \Delta t. \quad (2.36)$$

$\alpha = 15 * 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$ для матеріалу берилієва бронза. В корпусі гравіметра температура підтримується за допомоги термостата в якому постійна похибка рівна $\pm 9,5^{\circ}C$, з цього :

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_1 = -\frac{1}{2} * 15 * 10^{-6} * 1 = 7,5 * 10^{-6}.$$

Тиск та вологість навколишнього середовища впливає на здійснення коливання дроту що приводить до змін маси приєднаної до тензометричного матеріалу, яка здійснює коливання разом з дротом та разом з цим зменшує власне її частоту. Густина середовища, де здійснюється коливання характеризується впливом вологості та тиском що впливає на коливання дроту:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_2 = -2 \frac{\lambda_{\text{др}}}{\lambda}, \quad (2.37)$$

де $\lambda = 8,8 * 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}$ – для матеріалу берилієвої бронзи;

$\lambda_{\text{др}} = 1,7 * 10^{-13} \frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}$ – для повітря, коли тиск $p=10^{-2}$ мм рт.ст.

Звідси маємо:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_2 = -2 \frac{1,7 * 10^{-13}}{8,8 * 10^{-6}} = 0,04 * 10^{-6}.$$

Похибка пружного наслідку визначається:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_3 = -\beta_{\text{пр}} \frac{\Delta l}{l}, \quad (2.38)$$

де $\beta_{\text{пр}}$ – величина пружного наслідку матеріалу берилієвої бронзи:

$$\beta_{\text{пр}} = 0,2\%: \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_3 = -0,002 * 2 * 10^{-6} = -0,004 * 10^{-6}.$$

Фінальна похибка через нестабільність частоти виглядає:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta f}{f} &= -\sqrt{\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_1^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_2^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_3^2} \\ &= -\sqrt{(7,5 * 10^{-6})^2 + (0,04 * 10^{-6})^2 + (0,004 * 10^{-6})^2} \\ &= -7,5 * 10^{-6}. \end{aligned} \quad (2.39)$$

1) Площа відносного перерізу дроту має відносну похибку:

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\delta h}{h}\right)^2}, \quad (2.40)$$

Де $S = l * h$, δh , δl – допуск на сторони перерізу дроту.

					ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta h = \delta l = 0,8 \text{ мм}$ – виготовленні дроту за еквівалентом $hl^\wedge$

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{0,8 * 10^{-3}}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{0,8 * 10^{-3}}{0,025}\right)^2} = 0,03.$$

Вираз відносної похибки:

$$\frac{\Delta \mu}{\mu} = \frac{\Delta g}{g} - 2 \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} - 2 \frac{\Delta f}{f} = 2 * 10^{-6} - 2 * 2 * 10^{-6} - 0,03 = 0,0299.$$

З цього рівняння $\Delta \mu = 0,0299, \mu = 0,0299 * 60 = 1,8$.

Щоб забезпечити необхідну інструментальну похибку, треба на етапі виготовлення і в процесі зборки контролювати масу до точності 1,8 г. [1]

2) Як уже було сказано, що на ВГ постійно діє ПСТ, але ще періодично здійснюється прискорений рух ЛА. Але частота Ω періодичних збурень прискорень є досить меншою за частоту власного коливання дроту. Можемо зробити позначення на компоненти: вертикальна $\ddot{z}$, а горизонтальні $\ddot{x}$ і $\ddot{y}$.

Значення миттєвого результуючого прискорення, діючого в напрямку дроту, матиме вигляд:

$$|G(t)| = \sqrt{(g + \ddot{z})^2 + \ddot{x}^2 + \ddot{y}^2}, \quad (2.41)$$

Так як значення $\ddot{x}, \ddot{y}$ та $\ddot{z}$ зрівнянні з g досить малі, то можемо обмежитися малими другого порядку, рівняння набуде вигляду:

$$|G(t)| = g \left(1 + \frac{\ddot{z}}{g} + \frac{\ddot{x}^2}{g^2} + \frac{1}{2} \frac{\ddot{y}^2}{g^2} \right),$$

З цього миттєва частота проволочки:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\ddot{z}}{g} - \frac{1}{8} \frac{\ddot{z}^2}{g^2} + \frac{1}{4} \frac{\ddot{x}^2}{g^2} + \frac{1}{4} \frac{\ddot{y}^2}{g^2} \right).$$

Частота дроту матиме середнє значення за період часу T та виглядатиме:

$$\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}} \left[1 + \frac{1}{2g} + \frac{1}{T} \int_0^T \ddot{z} dt - \frac{1}{8} g^2 \frac{1}{T} \int_0^T \ddot{z}^2 dt + \frac{1}{4} g^2 \frac{1}{T} \int_0^T (\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2) dt \right],$$

Допустимо:

$$\ddot{z} = a \sin[\Omega_z t + \phi_z],$$

$$\ddot{y} = b \sin[\Omega_x t + \phi_y],$$

$$\ddot{x} = c \sin[\Omega_x t + \phi_x].$$

Виходячи з цього, середня частота буде рівна:

$$\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}} \left[1 - \frac{1}{16} \frac{a^2}{g^2} + \frac{1}{8} \frac{b^2 + c^2}{g^2} + \frac{1}{2} \frac{a}{g} \frac{1}{T} \int_0^T \sin(\Omega_z t + \varphi_z) dt + \right. \\ \left. \frac{1}{16} \frac{a^2}{g^2} \frac{1}{T} \int_0^T \cos 2(\Omega_z t + \varphi_z) dt - \frac{1}{8} \frac{b^2}{g^2} \frac{1}{T} \int_0^T \cos 2(\Omega_x t + \varphi_x) dt - \right. \\ \left. - \frac{1}{8} \frac{c^2}{g^2} \frac{1}{T} \int_0^T \cos 2(\Omega_y t + \varphi_y) dt \right]$$

У виразі, наведеному вище, збурююча частина першого порядку:

$\frac{1}{2} \frac{a}{g} \int_0^T \sin(\Omega_z t - \varphi_z) dt$ робиться малою тільки у двох випадках:

1. Коли відрізок часу вимірювання T обрати кратним відрізку періода

вертикальних прискорень при збуренні: $\frac{2\pi}{\Omega_z}$ тому, що :

$$T = \frac{2\pi h}{\Omega}, \int_0^T \sin(\Omega t + \phi) dt = 0, \quad (2.42)$$

2. Коли відрізок часу T обрати досить великим, маємо змогу нехтувати всіма чотирма значеннями. Але з іншого боку інтеграл середнього значення

ПСТ, за момент часу $\left(t + \frac{T}{2}\right)$ можна записати у вигляді:

$$\bar{G}(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} G(t) dt = g + \frac{1}{T} \left[\left(\frac{dz}{dt} \right)_{t+T} - \left(\frac{dz}{dt} \right)_t \right], \quad (2.43)$$

З цього маємо, так як для обрахунку з потрібною нам точністю треба ще, незважаючи на наш гравіметр, зробити вимір вертикальної швидкості ЛА що мати змогу урахувати другій член виразу що був перед цим.

Збурююче прискорення з правкою на горизонталь обраховується за рівнянням:

$$\Delta g_\Gamma = -\frac{1}{2g} (\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2)$$

Збурене горизонтальне прискорення в ЛА реєструється за допомогою центральною гіровертикаллю, я розташована у підвішеному стані або з допомоги декількох горизонтальних акселерометрів, які в свою чергу розташовані на гіроплатформі.

					ДПБ III-7117.000.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПСТ визначається гравіметром за допомогою формули:

$$g = \frac{1}{\alpha^2} f^2 = \beta f^2.$$

де β – значення що визначається до здійснення польоту, яке вимірюється на початковій позиції g_n , а саме частоту коливань f : $\beta = \frac{g_n}{f_n^2}$. Зміна ПСТ від заданих початкових положень розраховується:

$$\Delta g = g - g_n = \frac{g_n}{f_n^2} f^2 - g_n = \frac{g_n}{f_n^2} [f^2 - f_n^2] = \frac{g_n}{f_n^2} (f - f_n)(f + f_n) = \frac{2g_n}{f_n} \left(1 + \frac{\Delta f}{2f_n}\right) \Delta f, \quad (2.44)$$

де $\Delta f = f - f_n$

Присвоїмо $c = \frac{2g_n}{f_n}$, з цього випливає $\Delta g = c \Delta f + c \frac{\Delta f^2}{2f_n}$ де $c = \frac{\Delta f^2}{2f_n} = \Delta g_{II}$ - так

виглядає правка другого порядку, що при здійсненні виміру з ЛА в деяких випадках значення досить велике, тому його потрібно обов'язково враховувати.

Вимірювання сили тяжіння проводять на різних висотах відносно рівня моря або рівня початкової точки [5].

При віддаленні від центра Землі сила тяжіння зменшується, тому вводимо поправку на висоту від місця нагляду [5].

$$\Delta g_H = 0,3086 H,$$

де H – висота польоту ЛА, здійснена над рівнем моря.

Зміна центробіжної сили, яка діє на прилад характеризується ефектом Етвеша. Даний ефект є досить важливий, щоб їм нехтувати, а саме його потрібно враховувати при аерогравіметричних зйомках. Повне рівняння для розрахунку ефекту Етвеша:

$$\Delta g_E = \left(1 + \frac{H}{R_\phi}\right) \left(\lambda \omega \cos \phi v_E + \frac{v^2}{R_\phi}\right), \quad (2.45)$$

де R_ϕ – радіус Земної кулі у географічній широті ϕ ;

H – висота польоту ЛА;

ω – кутова швидкість Землі, при здійсненні повороту;

$v = \sqrt{v_E^2 + v_N^2}$ – швидкість літака на пройденому шляху, де v_E , v_N – східна та північна частини швидкості літака на пройденому шляху.

					<i>ДІБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приведено нижче таблицю 2.2. в, який зведені вище розглянуті похибки з розрахунком приблизних показників за певних значеннях параметрів:

- $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z} = 10$ Гал, збурюючі прискорення;
- $\Delta f = 50$ Гц, відхил частоти від заданої;
- $H = 3$ км, висота польоту ЛА;
- 300 км/год, фактична швидкість ЛА;
- $\varphi = 52^\circ$, широта місця де здійснюється політ;
- $v_E = 200$ км/год, східна складальна шляхової швидкості.

Таблиця 2.2. Похибки та обчислені їх орієнтовані значення [10]

Джерело похибки	Математичний вираз	Наближене значення	%, від межі виміру	Засіб обчислення або позбавлення
Інструментальна	$\frac{\Delta g}{g} = \frac{2\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta S}{S} + 2\frac{\Delta f}{f} - \frac{\Delta M}{M}$	2 мГал	0,04	Еталонування, термостатування
Вертикальні збурюючі прискорення	$\Delta g_v = \frac{1}{T} \left[\left(\frac{dz}{dt} \right)_{t+T} - \left(\frac{dz}{dt} \right)_t \right] = \frac{d^2 z}{dt^2}$	10^2 мГал	14,3	Вимірювання швидкості вертикальної ІВШ
Горизонтальні збурюючі прискорення	$\Delta g_r = \frac{1}{2g} (\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2)$	100 мГал	2	Вимірювання горизонтальних прискорень СШ
Зміна висоти польоту	$\Delta g_H = 0,3086 H$	620 мГал	12	Вимірювання висоти висотоміром
Ефект Етвеша	$\Delta g_E = \left(1 + \frac{H}{R_4} \right) \times \left(2\omega \cdot \cos \varphi v_E + \frac{v^2}{R_\varphi} \right)$	150 мГал	16,7	Вимірювання висоти і широти шляхової швидкості
Помилка другого порядку	$\Delta g_{II} = c \frac{\Delta f^2}{2f_n}$	30 мГал	0,6	Вимірювання кількості імпульсів спеціальним лічильником

Переглянувши таблицю, очевидно стає, що найбільшу похибку спричинює вертикальне збурення прискорень та ефект Етвеша. Також слід зазначити на всі похибки потребується відповідне внесення правок.

2.7. Похибки ВГ (ТГ) АГС від переносної (відносно приладу) кутової швидкості обертання Землі

Похибки від переносної (відносно приладу) кутової швидкості ω_z обертання Землі визначаються за формулами [3]:

$$\Delta_3 = K_{\text{ТГ}} \omega_3, \quad (2.46)$$

$$\delta_3 = \frac{\Delta_3}{a_{\text{кор}}} * 100\%, \quad (2.47)$$

де $K_{\text{ТГ}}$ – коефіцієнт передачі ТГ;

ω_3 – швидкість з якою обертається Земля;

$a_{\text{кор}}$ – корисний сигнал ТГ.

Щоб знайти аналітичну складову похибки Δ_3 . Щоб це зробити потрібно врахувати, що вертикальна складова переносної швидкості, а саме кутової головної осі $xOyz$ обумовлена обертом земної кулі та власне рухом ЛА:

$$\omega_z = \omega_3 \sin \varphi + \frac{v_y}{r} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.48)$$

$$v_y = r \dot{\lambda} \cos \varphi, \quad (2.49)$$

$$\frac{v_y}{r} \operatorname{tg} \varphi = \dot{\lambda} \sin \varphi, \quad (2.50)$$

де v_y – східна частина швидкості шляху ЛА;

r – геоцентричний радіус земної кулі;

$\dot{\lambda}$ – швидкість з якою змінюється довгота.

Якщо урахуємо вираз (50) в рівняння (48) то отримаємо залежність виглядом:

$$\omega_z = (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi, \quad (2.51)$$

Загальний випадок руху ЛА передбачає оберт навколо осі Oz , який має кутову швидкість $\dot{k}$, через це:

$$\omega_z = (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi + \dot{k}, \quad (2.52)$$

					ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\dot{k}$ – кут курсу у горизонтальній площині, які має відлік за рухом стрілки годинника від напрямку орієнтованого на північ до осі об'єкту, а саме повздовжньої.

Наступним кроком підставимо рівняння (52) у рівняння (46):

$$\Delta_3 = K_{\text{ТГ}} \left((\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi + \dot{k} \right), \quad (2.53)$$

Абсолютна похибка $\overline{\Delta_3}$, її середнє значення вираховується наступним:

$$(t_1 - t_2) \overline{\Delta_3} = K_{\text{ТГ}} (k(t_2) - (t_1)) + K_{\text{ТГ}} \int_{t_1}^{t_2} \omega_3 \sin \varphi(t) dt + K_{\text{ТГ}} \int_{t_1}^{t_2} \dot{\lambda} \sin \varphi(t) dt, \quad (2.54)$$

де $(t_1 - t_2)$ – інтервал, через який відбувається усереднення.

Максимальне значення члену $K_{\text{ТГ}} \omega_3 \sin \varphi$, де $\varphi = 90^\circ$, а швидкість з якою обертається Земля $\omega_3 = 7,29 * 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, є $2,92 * 10^{-5}$ рад[4].

Зрозуміло, що похибка обрахунку відповідного члена, коли задані сталі значення ω_3 та $K_{\text{ТГ}}$, цілком залежить від знаходження φ . Якщо вважати, що значення похибки обрахування $K_{\text{ТГ}} \omega_3 \sin \varphi$ повинна не перевищувати 0,01%, якщо точніше то $2,92 * 10^{-7}$ рад, то завдання підрахунку стає легкою, тоді похибка знаходження потрібної широти повинна не перевищувати $0,5^\circ$.

Запам'ятаємо: похибка широти буде меншою за $0,5^\circ$, то якщо змінимо $\int_{t_1}^{t_2} \sin \varphi(t) dt$ середнім показником $\sin \bar{\varphi}$ для нашого інтервалу $(t_2 - t_1)$ який є усереднювачем. Не заважаючи на вище приведені польоти проходять з сталою швидкістю, це означає що середній показ $\bar{\varphi}$ лежить на середині інтервалу $(t_2 - t_1)$, а $\sin \bar{\varphi}$ має несуттєві відміни від показника $\sin \bar{\varphi}$, тоді:

$$K_{\text{ТГ}} \int_{t_1}^{t_2} \omega_3 \sin \varphi(t) dt = K_{\text{ТГ}} \omega_3 \sin \bar{\varphi} (t_2 - t_1), \quad (2.55)$$

АГС найбільш чутливий до спрчини похибок вимірів широти, коли ЛА здійснює рух у серединних широтах. Тоді визначаємо складову $\dot{\lambda}(t) \sin \bar{\varphi}$ коли $\varphi = 65^\circ$ та $v_y = 234 \text{ м/с}$, $r = 6,4 * 10^{-5} \text{ м}$:

$$\dot{\lambda}(t) \sin \varphi = 7,3 * 10^{-5} \text{ c}^{-1}, \quad (2.56)$$

З цього маємо, що $\dot{\lambda}(t) \sin \varphi$ коли встановлені параметри руху має рівну кутову швидкість обертю земної кулі.

					ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Якщо візьмемо інтеграл від складової $\dot{\lambda}(t)$ на коротких проміжках часу, які ми можемо вважати сталими, то для цього ми скористуємося виразом:

$$K_{\text{ТГ}} \int_{t_1}^{t_2} \dot{\lambda} \sin \varphi(t) dt = K_{\text{ТГ}} (\lambda(t_2) - \lambda(t_1)) \sin \bar{\varphi}, \quad (2.57)$$

де $\bar{\varphi}$ – є серединою інтервалу усереднення.

При здійсненні програми випробувань польоту потрібно обирати маршрут або вповдовж паралелі (широта майже стала, це означає що у розрахунку зможемо використати φ) або вповдовж меридіану (в даному випадку зможемо застосувати $\sin \bar{\varphi}$ для грубої апроксимації). Коли буде здійснюватися зведення даних польоту то для обрахунку $\bar{\varphi}$ то потрібно використати серединну точку проміжку $(t_2 - t_1)$.

Остаточний вигляд рівняння (49):

$$\Delta_3 = K_{\text{ТГ}} \left(\frac{k(t_2) - k(t_1)}{t_2 - t_1} + \omega_3 \sin \bar{\varphi} + \frac{\lambda(t_2) - \lambda(t_1)}{t_2 - t_1} \sin \bar{\varphi} \right), \quad (2.58)$$

Обрахуємо $\overline{\Delta_3}$ і $\overline{\delta_3}$, при $k = 0$, для параметрів, які були наведено вище. В даному випадку :

$$\overline{\Delta_3} = 5,8 * 10^{-5} \text{ рад.} = 584 \text{ мГал.}$$

$$\overline{\delta_3} = 2,92 * 10^{-2} \text{ \%}.$$

Похибка гравіметра, яка спричинена ω_z досить велика в порівнянні з іншими, це означає що її потрібно врахувати в рівняння руху АГС.

З рівняння (58) можна побачити, що для зменшення похибки через переносну кутову швидкість оберту навколо осі ТГ, потрібно уменшити коефіцієнт передачі гравіметре через покращення конструкції ТГ.

2.8. Статична характеристика

Проаналізувавши ВГ (ТГ) і його принцип дії, можемо побудувати структурну схему. Отриманий результат в такий спосіб зображено на рисунку:



Рисунок 2.4. Структурна схема ВГ

Передатну функцію нашої першої ланки у динамічному режимі з урахуванням того, що система інерційно рухома, можна представити у вигляді:

$$W_1(p) = \frac{\frac{m}{c}}{\frac{m}{c}p^2 + \frac{m}{c}p + 1}, \quad (2.59)$$

Друга ланка перетворювача здійснює перетворення вихідної величини переміщення x у потрібну частоту коливань тензOMETричного дроту. Передатний коефіцієнт даного елемента:

$$K_2 = \frac{f}{x}, \quad (2.60)$$

При урахуванні залежності отриманої з частоти f від розтягу дроту x :

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Ex}{\lambda l}}, \quad (2.61)$$

Зможемо отримати вираз для коефіцієнта K_5 :

$$K_2 = \frac{f^2}{x} = \frac{E}{4l^2\lambda}, \quad (2.62)$$

З огляду на це, передаточна функція виглядатиме:

$$W_2 = \frac{E}{4l^2\lambda}, \quad (2.63)$$

Третій перетворювач має вихідну величину яка має вигляд, частоти коливань дроту f , а на виході є – ЕРС, яка в свою чергу наводиться у дроті в момент здійснення переміщення коли під дією магнітного поля:

$$K_U = \frac{8iB^2l_Ml^4}{\pi^5EJ} \left(\cos \frac{\pi(l-l_M)}{2l} - \cos \frac{\pi(l+l_M)}{2l} \right) \varphi_1(U), \quad (2.64)$$

де B – індукція поля магніту; i – струм, який проходить через проволочку; l_M – довжина дроту в області дії магнітного поля; l – довжина дроту; J – момент інерції поперечного перерізу дроту.

Тоді третій перетворювач має функцію у вигляді:

$$W_3 = K_U, \quad (2.65)$$

Четверта ланка має всі властивості підсилювача напруги. Його передатна характеристика:

$$W_4 = K_p, \quad (2.66)$$

де K_p – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

При врахуванні вище наведеного, остаточно передаточна функція виглядає:

$$W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_5(p), \quad (2.67)$$

Кінцева передатна функція виглядає, як коефіцієнт прямого перетворення i , в свою чергу, характеризується коливним процесом.

2.9. Висновок до другого розділу

У проектно-конструкторському ДПБ було проведено наступну роботу:

- проведено аналіз матеріалів для чутливого елемента ВГ;
- зроблено вибір закріплення чутливого елемента ВГ, та визначено вимоги до нього;
- розроблено математичну модель ВГ;
- описано реєстрацію вихідного сигналу ВГ;
- отримано кінцевий вигляд вихідного сигналу ВГ;
- проведено обчислення похибок ВГ;
- досліджено статичну характеристику ВГ.

					<i>ДПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Конструкція виробу відіграє головну роль у процесі створенні нових моделей конструктором, вона повинна передбачати раціональний технологічний процес виготовлення, кращій варіант використання енергетичних ресурсів та матеріалу сировини.

Технологічність – це забезпечення високої технічної, експлуатаційної характеристики з урахуванням мінімальних витрат корисної праці при їхньому виготовленню, що впливає з сукупності властивостей вузлів, деталей та самої конструкції приладу.

Якість виробу може піддаватись різним показникам оцінки, але коли річ заходить про технологічність то зазвичай, все зводиться до оцінки конструкції та виробництва. Оцінка технологічності може бути тільки якісною або кількісною. Якісна оцінка виробу оцінюється за критерієм досвіду конструктора при проектуванні. Якісна оцінка визначається опитуванням експертної групи з урахування її новизни. Кількісна оцінка технологічності оцінюється числовим показником, яка задовольняє вимогу технологічності.

Складальні одиниці виробу повинні мати такі характеристики як: простота виробу і його складальних одиниць, яка не потребує доробок (шліфовок, підгонки), мати максимально швидкій виробничий цикл і максимальну диференціацію складальних одиниць.

Відпрацювання виробу, а саме його конструкції на технологічність перевіряються наступні характеристики: технічне обслуговування, тобто ремонт; перспектива виробу у майбутньому, а саме кількість випуску; умова роботи; на скільки він є новий; розглядається можливість використання типових технологічних процесів.

3.1. Визначення основних показників технологічності

Показник трудомісткості – це сума затраченого часу (годин) на випробування та виготовлення виробу визначається за формулою:

$$T_i = \sum T_i \quad (3.1)$$

Де T_i – трудомісткість виготовлення виробу.

Показник технологічності конструкції $K_{y.t.}$ визначається відношенням трудомісткості виробу $T_i = 40$ до виразу базового показника трудомісткості виготовлення струнного гравіметра $T_{б.i.} = 44,4$:

$$K_{y.t.} = \frac{T_i}{T_{б.i.}} = 0,9, \quad (3.2)$$

Показник $K_{y.t.}$ здебільшого можна розраховувати у процесі проектуванні виробу за наближеними розрахунками трудомісткості при цьому використовувати коригуючі коефіцієнти та дослідницько-статистичні дані.

Сума технологічної собівартості виробу C_t визначається за сумою всіх витрат на кількість одиниць виробу:

$$C_t = C_m + C_z + C_{o.v.} = 1020 \text{ грн.}, \quad (3.3)$$

де, $C_m = 300$ грн – вартість матеріалу, який був витрачений на виготовлення продукту; $C_z = 500$ грн – заробітна плата працівників цеху; $C_{o.v.} = 220$ – витрати цеху, які передбаченні процесом виробництва.

Технологічна собівартість використовується для визначення рівня технологічної конструкції, для цього вираз досягнутої собівартості виробу C_t потрібно поділити на вираз технологічну собівартість базового виробу струнного гравіметра $C_{б.в.} = 1150$ грн:

$$K_{y.c.} = \frac{C_t}{C_{б.в.}} = 0,9, \quad (3.4)$$

Так само як за рівнянням 5.2, цей показник також розраховується за використанням приближених розрахунків при використанні дослідницько-статистичних даних виробів та коригувального коефіцієнта.

3.2. Визначення додаткових показників технологічності

Коефіцієнт уніфікації виробу:

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n}, \quad (3.5)$$

Де $N_y = 0$ – кількість уніфікованих складальних одиниць;

$n_y = 9$ – кількість уніфікованих деталей;

$n = 17$ – сумарна кількість всіх деталей;

$N = 3$ – сумарна кількість всіх складальних одиниць.

За формулою (3.5) отримуємо:

$$K_y = \frac{(0 + 9)}{(3 + 17)} = 0,45$$

Визначення коефіцієнта уніфікації складальних одиниць $K_{усо}$, розраховується кількості цих одиниць ділиться на їхню загальну кількість:

$$K_{усо} = \frac{N_y}{N} = \frac{0}{3} = 0, \quad (3.6)$$

Коефіцієнт уніфікації деталей $K_{уд}$:

$$K_{уд} = \frac{n_y}{n} = \frac{9}{17} = 0,52, \quad (3.7)$$

При діленні загальної кількості складальних одиниць на загальну кількість деталей, отримаємо коефіцієнт уніфікації деталей $K_{со}$:

$$K_{со} = \frac{N}{n} = \frac{3}{17} = 0,17, \quad (3.8)$$

3.3. Визначення комплексного показника технологічності

Комплексний показник технологічності відрізняються від решти тим що, визначають цілу групу ознак технологічності виробу, а не окремі ознаки.

Комплексний показник технологічності конструкції може характеризуватися не одним його показником, а декількома що зможе узагальнити

групу часткових, або різні види комплексних технологічних показників конструкції виробу.

Даний метод полягає у тому, що враховує економічну ефективність вхідних часткових показників через те що вводяться коефіцієнти економічної ефективності K_e . Даний коефіцієнт лежить в діапазоні нуля та одиниці, тобто $0 < K_e \leq 1$.

Технологічність конструкції виробу має сумарний показник основних та допоміжних показників в які враховується коефіцієнт економічної ефективності. K_e можна визначити за формулою:

$$\sum_{i=1}^n K_e = 1, \quad (3.9)$$

Визначається комплексний показник технологічності за формулою:

$$K_k = \frac{K_1 \cdot K_{1e} + K_2 \cdot K_{2e} + K_3 \cdot K_{3e} + \dots + K_n \cdot K_{ne}}{K_{1e} + K_{2e} + K_{3e} + \dots + K_{ne}}, \quad (3.10)$$

Де $K_1 = K_{yt} = 0,9$;

$K_2 = K_{yc} = 0,9$;

$K_3 = K_y = 0,45$;

$K_3 = K_{yc6} = 0$;

$K_4 = K_{yd} = 0,52$;

$K_5 = K_{36} = 0,17$;

$$K_k = \frac{0,9 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,2 + 0,45 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,2 + 0,52 \cdot 0,1 + 0,17 \cdot 0,1}{0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,1 + 0,1} = 0,52.$$

Фізичний зміст даного коефіцієнта полягає в тому, він забезпечує однаковий вплив на економічний показник, коли змінюються значення часткових показників.

3.4. Розробка технологічної схеми складання (ТСС) та схеми складального складу (ССС)

ТСС. Технологічний процес складання буде цілком залежати від розподілу виробу на складові частини. Для нагляду розробляється технологічна схема складання на ньому графічно зображене послідовне входження деталей та складальних одиниць з їх способом закріпленням. Дана схема будується так щоб було зрозуміло в якому порядку складальні одиниці будуть введені в технологічний процес.

ССС. Схема складального складу створюється на основі конструкторської документації. Дана схема потрібна щоб проаналізувати та синтезувати прилад у процесі складання. Аналіз несе собою розчленування приладу в процесі його зборки. Синтез це скоріше правила побудови приладу з елементами.

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

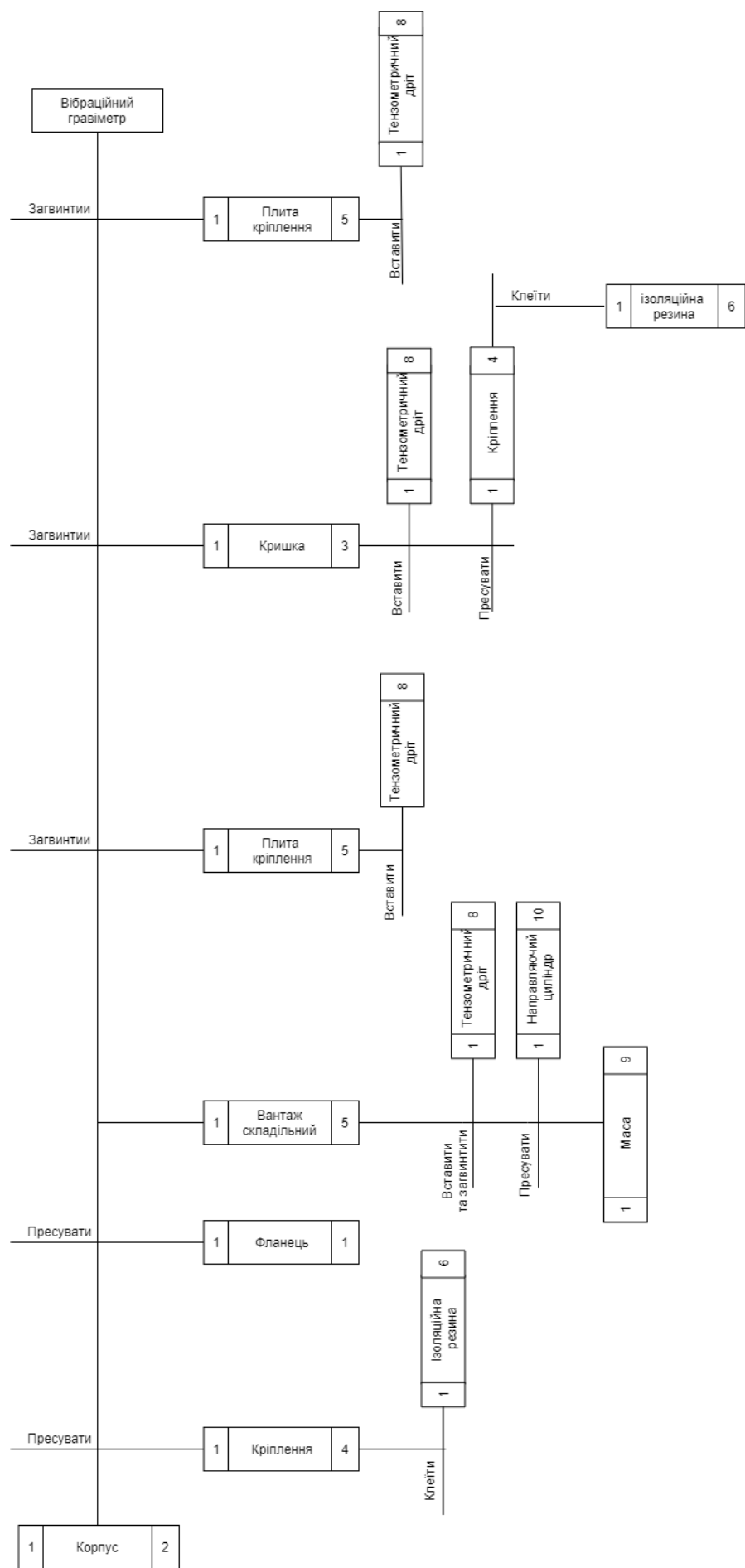


Рисунок 3.1. ТСС

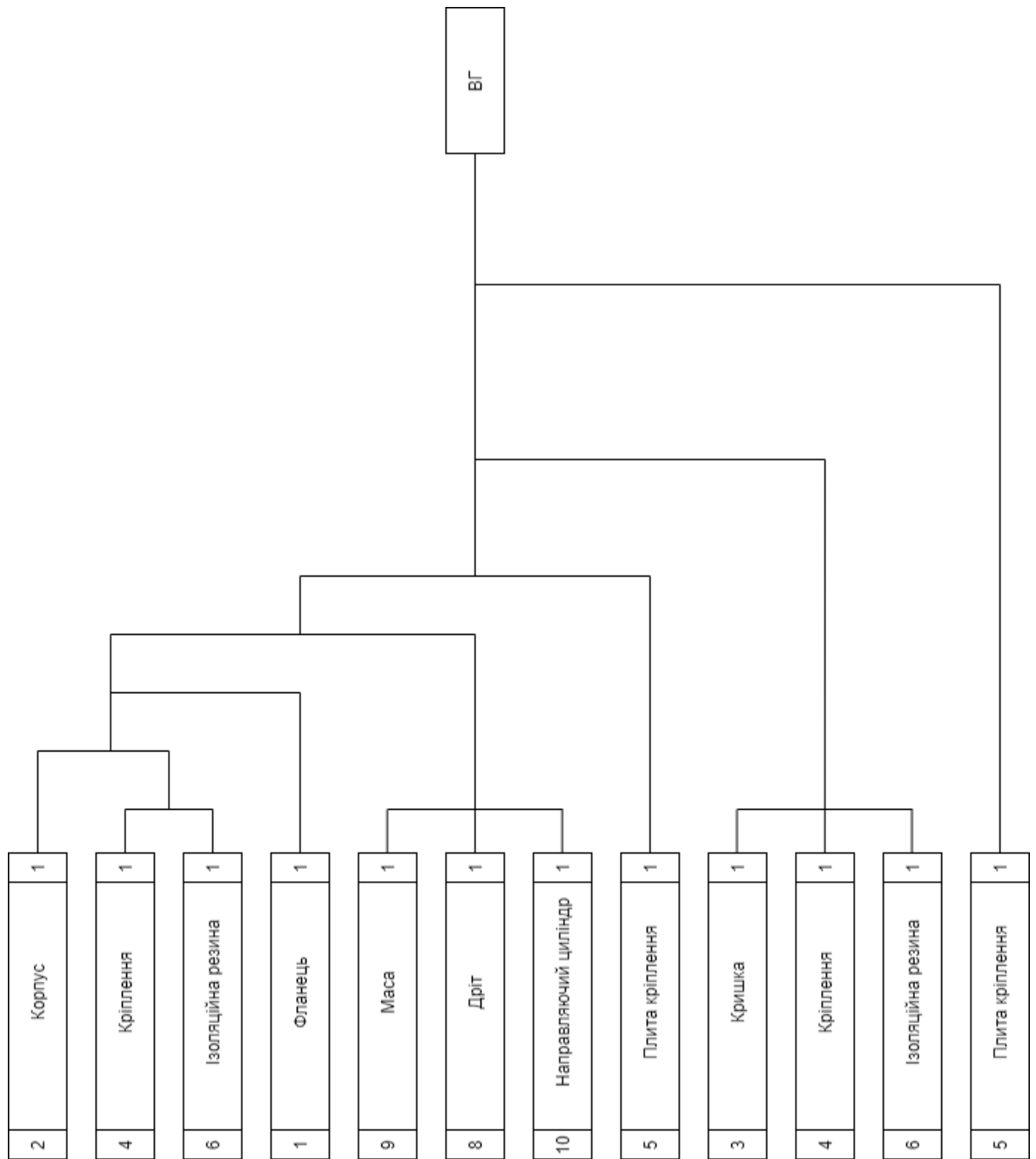


Рисунок 3.2. ССС

3.5. Розрахунок складальної одиниці на точність

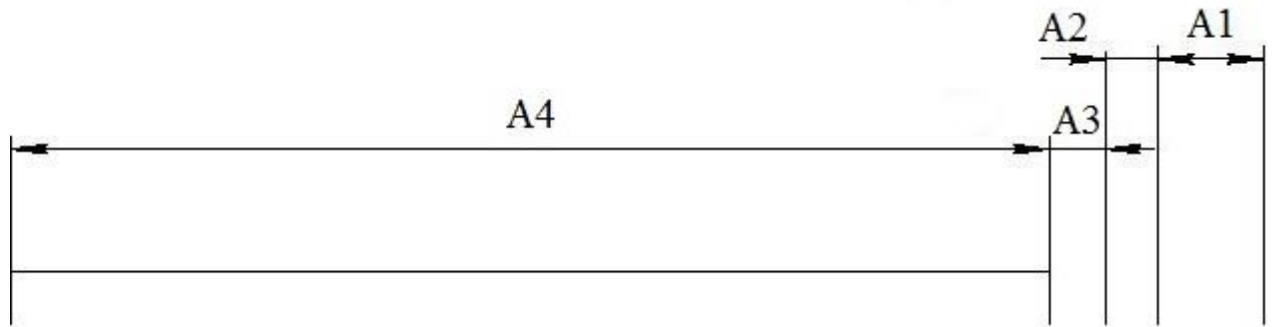


Рисунок 3.3 – Схема розмірної ланки

$$A_{\text{зам}} = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3) = 6,5 - (3 + 2 + 1,1) = 0,4\text{мм}$$

Таблиця 3.1. – Значення складових частин розмірної ланки

Ланки, що збільшуються			Ланки, що зменшуються		
A_i	δ_i	ΔK_i	A_j	δ_j	ΔK_j
$A_4=6,5$	$\pm 0,05$	0	$A_1=3$	- 0,01	- 0,005
			$A_2=2$	- 0,02	- 0,01
			$A_3=1,1$	0	0

Розмірну ланку розраховуються через пряму або зворотню задачу. У даному дипломному проєкті зворотню задачу буде розв'язано двома методами.

1) Метод повної взаємозамінності

Формула номінального значення замикаючої ланки ланцюга має вигляд:

$$A_3 = \sum_{i=1}^{36} A_i - \sum_{i=1}^{3M} A_i, \quad (3.11)$$

де $\sum_{i=1}^{36} A_i$ – сума розмірів ланок, що збільшують ланцюг;

$\sum_{i=1}^{3M} A_i$ – сума розмірів ланок, що зменшують ланцюг.

З цього:

$$A_3 = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3) = 6,5 - (3 + 2 + 1,1) = 0,4\text{мм}$$

Сума абсолютних величин ланок дорівнює допуску замикаючої ланки:

$$\begin{aligned} \delta_{\Delta} &= \sum_{i=1}^4 |\delta_i|, \\ \delta_{\Delta} &= 0,05 + 0,01 + 0,02 + 0 = 0,08. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Показник середини поля допуску замикаючої ланки:

$$K_3 = \sum_{i=1}^1 K_i - \sum_{i=1}^3 K_1 = 0 - (-0,005 - 0,01 + 0) = 0,015. \quad (3.13)$$

Верхнє і нижнє відхилення розміру замикаючої ланки:

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + 0,5\delta_{\Delta} = 0,015 + 0,5 \cdot 0,08 = 0,055,$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - 0,5\delta_{\Delta} = 0,015 - 0,5 \cdot 0,08 = -0,025.$$

Відповідь матиме вигляд:

$$0,4^{+0,055}_{-0,025} \text{ мм.}$$

2) Метод неповної взаємозамінності

Допуск ланки яка є замикаючою:

$$\delta_{\Delta} = \frac{1}{3} t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^4 (K_i)^2 (\zeta)^2 (\delta_i)^2}, \quad (3.14)$$

Допускаємо, що закони розміщення складових ланцюга є нормальними, тоді значення ризику буде 0,27%. Поле розсіювання ланки яка є замикаючою буде дорівнювати:

$$\delta_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot 3 \sqrt{\sum_{i=1}^4 (\delta_i)^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0^2} = 0,055.$$

Показник середини поля розсіювання ланки яка є замикаючою:

$$K_3 = \sum_{i=1}^1 (K_i - 0,5\alpha_i \delta_i) - \sum_{i=1}^3 (K_i + 0,5\alpha_i \delta_i), \quad (3.15)$$

$$K_3 = (0 - 0,5 \cdot 0,05) - [(-0,005 - 0,5 \cdot 0,01) + (-0,01 - 5 \cdot 0,02) + (0 + 0,5 \cdot 0)] = \\ = -0,025 - (-0,01 - 0,02 + 0) = 0,005.$$

Верхнє та нижнє відхилення ланки буде мати межі:

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + \frac{\delta_{\Delta}}{2} = 0,005 + \frac{0,055}{2} = 0,033,$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - \frac{\delta_{\Delta}}{2} = 0,005 - \frac{0,055}{2} = -0,023.$$

Відповідь матиме вигляд:

$$0,4^{+0,055}_{-0,025} \text{ мм.}$$

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.6. Висновок до третього розділу

У технологічному розділі були проведена така робота:

- Проведені розрахунки для визначення основних показників технологічності приладу;
- Були визначені додаткові показники технологічності;
- Розраховано та визначено комплексного показника технологічності;
- Були розроблені схеми Технологічний процес складання (ТСС) та схема складального складу (ССС);
- Поведені розрахунки показника точності складальної одиниці.

					<i>ДІПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДПБ

У дипломному проєкті бакалавра була проведена робота по проєктуванню вібраційного тензOMETричного гравіметра, який є частиною автоматизованого приладового комплексу авіаційної гравіметричної системи. Отримано наступні результати:

1. Було проведено огляд існуючих типів гравіметрів. Розглянуто принцип їх роботи, їх переваги та недоліки. Це допомогло визначитись з напрямком проєктування вібраційного тензOMETричного гравіметра, який повинен бути простий у виконанні та повинен уникнути недоліків існуючих гравіметрів;
2. Представлено та розглянуто новий вібраційний тензOMETричний гравіметр з описом його принципу дії, та перевагами використання саме цього гравіметра;
3. Обрано відповідний матеріал, спосіб закріплення тензOMETричної струни двоканального ВГ з певними вимогами до нього;
4. Створено математичну модель ВГ (ТГ), та проведено основні розрахунки його роботи;
5. Приведено розрахунки технологічності приладу та технологічності його виготовлення. Розроблено схеми ТСС і ССС.

					<i>ДПБ ПІ-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Торге, В. Гравиметрия [Текст]: монография / В Торге Пер. Г. А. Шануров, Ред. А. П. Юзефович. – М.: Мир, 1999.-428 с.
2. Безвесільна, О. М. Вимірювання прискорень [Текст] /О.М. Безвесільна. - К.: Либідь, 2001. - 261 с.
3. Попов, Е. И. Определение силы тяжести на подвижном основании [Текст] / Е. И. Попов. - М.: Наука, 1987. -218 с.
4. Веселов, К. Е. Гравиметрическая разведка [Текст] / К. Е. Веселов.-М.: Недра, 1968.-512 с.
5. Мудрецова, Е. Н. Гравиразведка [Текст]: справочник геофізика / Е. Н. Мудрецова-М.: Недра, 1990.- 456 с.
6. Грушинский, Н. П. Основы гравиметрии [Текст] / Е. И. Попов М. : Наука Главная редакция физико математической литературы, 1983.-352 с.
7. Thomson, S. Airborne Geophysics - Evolution and Revolution [Text] / S. Thomson, S., D/ Fountain, T. Watts // Exploration in the New Millennium. Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration.- Toronto, Canada, 2007, p. 1937
8. Gramert, W. R. Third generation aerogravity system [Text] / W.R. Gramert // International Association of Geodesy Symposium G4, IUGG XXI General Assembly-Boulder, Colorado, 1995.
9. Безвесільна, О. М. Вимірювання гравітаційних прискорень [Текст] / О. М. Безвесільна. - Житомир : ЖІТІ, 2002.-264 с.
- 10.Осадчий, Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин [Текст] / Е. П. Осадчий.М.: Машиностроение, 1979.- 480 с.
- 11.Карцев, А.А. Унифицированные струнные измерительные преобразователи [Текст] / Е. А. Карцев. - М.: Машиностроение, 1982. - 144с.
- 12.Безвесільна, О. М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів [Текст]: підручник / О. М. Безвесільна, Г. С. Тимчик. - Житомир: ждту, 2012.-812с.
- 13.Новицкий, п.в. Унифицированные струнные измерительные преобразователи [Текст] / Е. А. Карцев. - М.:Машиностроение, 1982.- 144с.
- 14.Одинцов, А. А. Динамически настраиваемые гироскопы [Текст] / А. А. Одинцов. - К.: НМК ВО, 1992. - 68 с. 29. Одинцов, А. А. Гироскопический

					<i>ДІПБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- інтегратор лінійних ускорень [Текст] / А.А. Одинцов.- К. : НМК ВО, 1986.-68 с.
- 15.Веселов, К. Е. Гравиметрическая съемка [Текст] / К.Е. Веселов.-М.: Недра, 1986.-311 с. 12 Миронов, В. С. Курс гравиразведки [Текст] / В. С. Миронов.- М.: Недра, 1980.-543 с.
- 16.Пат. 109746 Україна. Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, Л.О. Чепюк //Опубл. 25.09.2015, Бюл. № 18.
- 17.Хильченко Т.В. Двоканальний МЕМС гравіметр автоматизованої авіаційної гравіметричної системи: дис. ... канд. техн. наук. : 05.11.01 – прилади та методи вимірювання механічних величин / Т.В. Хильченко. – Одеса, 2019. – 228 с.
- 18.Попов, Е. И. Определение силы подвижном основании [Текст] / Е. И. Попов. — М. : Наука, 1987. – 218 с.
- 19.Безвесільна О.М. Аналіз основних типів гравіметрів АГС / О.М. Безвесільна, Л.О. Чепюк // ВІСНИК ЖДТУ. 2013. № 3 (66), с. 52-61.
- 20.О.М. Безвесільна, Гравіметр авіаційної гравіметричної системи нового типу / О.М. Безвесільна, К.С. Козько, 2014.
- 21.Быковский А.В., Полинков А.В., Арсеньев В.Д. Аэрогравиметрический метод измерения гравитационных аномалий / Быковский А. В., Полинков А. В., Арсеньев В. Д. // Авиакосмическое приборостроение – 2013. №12. – С. 11–19
- 22.Пат. 2253882 Россия, МПК G 01 V 7/02. Гравиметр / А.П. Быков, О.Е. Енина, В.П. Кулеш, Л.М. Москалик.
- 23.Безвесільна О.М., Козько К.С., Тимчик Г.С., Чепюк Л.О. Прецизійний чутливий елемент автоматизованої інформаційної вимірювальної системи. Житомир : ЖДТУ, 2017. 208 с.
- 24.Коваленко, І. О. Метрологія та вимірювальна техніка: навч. посібник / І.О. Коваленко, А. М. Коваль. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 652 с.

					<i>ДІБ III-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

25. Mohinder, S. Grewal Global positioning systems, inertial navigation, and integration / Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews – Hoboken, New Jersey : Wiley-Interscience a John Wiley & Sons Inc., 2007. – 525 p.
26. Іващенко, О. А. Дослідження двоканального сильнодемпфованого вимірювача : магістерська дис. : 152 Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка / Іващенко Олена Андріївна. - Київ, 2018. - 127 с.
27. Коротков В.П., Тайц Б.А. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств – М., Издательство стандартов, 1978, 352 с.
28. Метрологическое обеспечение производства: Конспект лекций. Госстандарт, ВИСМ. – М: Издательство стандартов, 1982.

					<i>ДІПБ ПП-7117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Міністерство освіти і науки України
Державний університет «Житомирська політехніка»
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут» ім. І. Сікорського
Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України
Житомирський державний університет ім. Івана Франка,
Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова
Shantou University (Китайська Народна Республіка)
Luleå university of technology (Королівство Швеція)
Politechnika Opolska (Poland)
Warsaw University of Technology (Poland)
Технічний університет (Чеська Республіка)
Технічний університет (Республіка Болгарія)
Університет країни Басків (Іспанія)
Віденський технічний університет (Австрія)

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

XII Міжнародної науково-технічної конференції

**Інформаційно-комп'ютерні
технології – 2021
(ІКТ-2021)**

м. Житомир, 01-03 квітня 2021 р.

Житомир
2021

Безвесільна О.М., д.т.н., проф., проф. кафедри «Приладобудування»

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»*

Ільченко М.В., с.н.с.

ПАТ «НВО «КЗА»

Ткачук А.Г., к.т.н., доц., зав. кафедри А та КІТ ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Державний університет «Житомирська політехніка»

Хілик Д.А., студ.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»*

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИЛADOVOЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Шляхом для підвищення точності стабілізатора є відмова від традиційної схеми так званої «силової» стабілізації, по якому побудовано більшість стабілізаторів. Стабілізатори, що побудовані на принципі «силової» стабілізації, мають такі основні недоліки: 1) оптичні прилади спостереження за об'єктами «жорстко» зв'язані з блоками горизонтального (Б) та вертикального наведення (БО); 2) наведення блоків Б та БО виконується безпосередньо за допомогою стабілізатора.

При такому принципі побудови, наведення з пультів стабілізатора блоків Б та БО, що мають великі маси та моменти інерції, призводить до суттєвих похибок.

Для суттєвого зменшення похибок стабілізації пропонується блоки Б і БО та прилад спостереження за об'єктами виконати за принципом «незалежної» стабілізації, а саме, роз'єднати ці складові. У цьому стабілізаторі, як прилад спостереження за об'єктами, використовується прилад (рис. 1) зі стабілізованим полем зору (СПЗ). Принцип дії цього стабілізатора полягає в тому, що наведення поля зору приладу СПЗ, що має моменти значно менші, чим моменти блоків Б та БО, виконується за допомогою пультів стабілізатора, а наведення блоків Б та БО проводиться за сигналами від датчиків кута приладу СПЗ. Застосування нової моделі побудови стабілізатора в разі зменшить коливання об'єкта спостереження на екранах моніторів СУВ та зменшить значення середньої похибки стабілізації з (1 до 0,4) т. д.

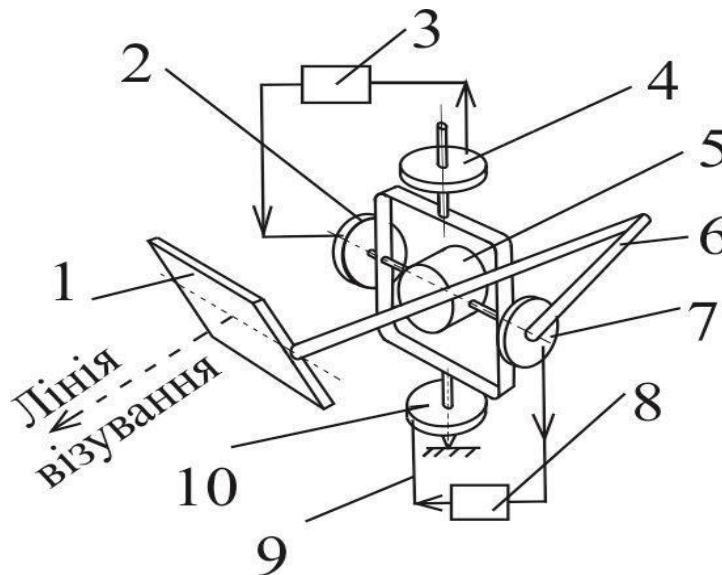


Рис. 1. Прилад з стабілізованим полем зору:

1 – стабілізоване дзеркало; 2, 10 – датчики моменту; 3, 8 – підсилювачі сигналу;
4, 7 – датчики кута; 5 – гіроскоп; 6 – шарнір

Режим наведення з використанням сигналів (рис. 1) забезпечується зсувом лінії візування приладу за сигналами пульта оператора, які подаються на датчики моменту по осях зовнішньої й внутрішньої рамки гіроскопа. Під впливом цих моментів відбувається зсув гіроскопа OEM-ПСЗ у вертикальній і горизонтальній площині. Зсув гіроскопа приводить до зсуву вихідної осі (розвороту головного дзеркала) приладу.